

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského
inženýrství

Regulace provozu chlazení vodíkové
technologie

Regulation of Hydrogen Technology
Cooling Operation

2020

Bc. Jan Vlček

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Vlček**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2612T041 Řídicí a informační systémy

Téma: **Regulace provozu chlazení vodíkové technologie**
Regulation of Hydrogen Technology Cooling Operation

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Diplomová práce se zabývá návrhem a realizací regulace chladicího systému energetického centra s ohledem na provoz vodíkových technologií v manuálním a automatickém režimu. Cílem je analýza, implementace řídicího software pro instalované PLC a dokumentace řešení s ohledem na bezpečnost a zabezpečení provozu a ovlivnění okolními technologickými procesy.

V souhrnu je práce charakterizována následujícími body:

1. Analýza provozu laboratoře palivových článků s ohledem na chladicí systém.
2. Návrh a realizace řídicího algoritmu pro manuální režim provozu.
3. Návrh a realizace řídicího algoritmu pro automatický režim provozu.
4. Konfigurace provozního prostředí pro implementaci a provoz vizualizace.
5. Zhotovení dokumentace řešení.
6. Test řešení v daných pracovních podmínkách.
7. Zhodnocení výsledků řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] PETRUZELLA, Frank D. *Programmable Logic Controllers*. New York: McGraw-Hill, 2017. ISBN 978-0073373843.
- [2] BEHLING, Noriko H. *Fuel Cells: Current Technology Challenges and Future Research Needs*. [s.l.]: Elsevier, 2012. ISBN 978-0-444-56325-5.
- [3] ŠMEJKAL, Ladislav. *PLC a automatizace. 2. díl, Sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-087-3.
- [4] BOYER, Stuart A. *Scada: Supervisory Control And Data Acquisition*. North Carolina: ISA, 2009. ISBN 978-1936007097.
- [5] RINALDI, John S. *OPC UA - Unified Architecture: The Everyman's Guide to the Most Important Information Technology in Industrial Automation*. [s.l.]: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016. ISBN 978-1530505111.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2020



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry

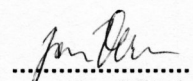


prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 15.5.2020


Jan Vlček

Poděkování

Děkuji vedoucímu Ing. Zdeňku Slaninovi, PhD. za trpělivost a odborné vedení. Také bych rád poděkoval Ing. Jakubovi Němčíkovi a Ing. Filipovi Krupovi za rady v průběhu práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce pojednává o řízení a vizualizaci chladicího systému energetického centra ENET ve Vítkovicích. V úvodu práce popisuje analýzu laboratoře s ohledem na palivové články a jejich chlazení. Následně se zabývám realizací vizualizace a programu v PLC pro manuální režim. Dále jsem do tohoto programu implementoval režim automatický. V závěru práce je popsán průběh a hodnotím dosažené výsledky.

Klíčová slova

Programovatelný logický automat; Řídicí systém; Vizualizace; Promotic; Chlazení

Abstract

This diploma thesis recounts about control and visualization for cooling system of energy center in Vítkovice. In the introduction, the thesis describes analysis of laboratory with respect to fuel cells and their cooling. Subsequently I deal with implementation of visualization and PLC program for manual control. Then I also implemented automatic mode into this program. Finally, at the end of the thesis is described the course and I evaluate the results.

Keywords

Programmable Logic Controller; Industrial control system; Visualization, Promotic, Cooling

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	11
1 Úvod	12
2 Popis provozu laboratoře palivových článků	13
2.1 Řízený systém	13
2.1.1 Palivové články	13
2.1.2 Měníče	15
2.1.3 Chlazení	16
2.1.4 Elektrolyzéry	16
2.2 Řídicí systém	17
2.2.1 Programovatelný logický automat	17
2.2.2 Vzdálené periferie	18
2.2.3 Senzory	19
2.2.4 Akční prvky	19
3 Realizace manuálního režimu provozu	21
3.1 Popis použitých bloků	21
4 Vizualizace	31
4.1 Topologie komunikace	31
4.1.1 S7 protokol	31
4.1.2 Serverová část	32
4.1.3 Klientská část	34
4.2 Rozvržení vizualizace	36
4.3 Dialogová okna prvků	40
4.4 Popis symbolů a statusů ikon	41
5 Realizace automatického režimu provozu	44
5.1 Režimy řídicího systému	44
5.2 Komunikace CPU – CPU	44
5.3 Automatické nastavení sání a výfuku ventilace	46
5.4 Nastavení čerpadel a polohy trojcestných ventilů chladících okruhů	47
5.5 Popis bloků zajišťujících automatický režim	49
6 Ověření funkčnosti automatického režimu	51
7 Závěr	53
Literatura	54

Seznam použitých symbolů a zkratek

A	Ampér – základní jednotka proudu
AC	Střídavý proud (Alternating current)
AFC	Alkalické PČ (Alkaline fuel cells)
AkTe	Akumulace Tepla
CPU	Centrální procesorová jednotka (Central Processing Unit)
DC	Stejnsměrný proud (Dirrect current)
DMFC	Přímý metanolový PČ (Direct methanol fuel cells)
FoPA	Fotovoltaika, Palivové články
H ₂ O	Voda
HTML	Značkovací jazyk (Hypertext Markup Language)
kW	Odvozená jednotka wattu, jednotka výkonu
LAD	Jazyk příčkového diagramu (Ladder diagram)
MCFC	PČ s tavenými uhličitany (Molten carbonate fuel cells)
ODT	Časovač se zpožděním (On delay timer)
PAFC	PČ s kyselinou fosforečnou (Phosphoric acid fuel cells)
PČ	Palivový článek
PEM	PČ s polymerní membránou (Proton Exchange membrane)
PLC	Programovatelný logický automat (Programmable logic controller)
SOFC	PČ s tuhými oxidy (Solid oxide fuel cells)
STL	Jazyk seznamu instrukcí (Statement list)
TCP/IP	Primární přenosový protokol (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)
UDT	Uživatelsky definovaný datový typ (User Defined Datatype)
URL	Jednotná adresa zdroje (Uniform Resource Locator)
V	Volt – základní jednotka napětí
XML	Rozšiřitelný značkovací jazyk (Extensible Markup Language)
°C	Stupeň Celsia – Jednotka teploty

Seznam obrázků

Obr. 1 Princip PEM článku [4]	13
Obr. 2 Zásobník PEM článků [4]	14
Obr. 3 Principiální schéma soustavy akumulace elektrické energie	15
Obr. 4 Schéma větve zajišťující chlazení palivových článků	16
Obr. 5 Schéma struktury řídicího systému a jeho datových toků	17
Obr. 6 Programovatelný logický automat S7 400H	18
Obr. 7 Směšovací ventil [9]	20
Obr. 8 Aktivitní diagram počítadla motohodin v cyklickém přerušení OB32	21
Obr. 9 Poloha trojcestného ventilu větve M – PAC02_AA001	22
Obr. 10 Aktivitní diagram pro nastavení polohy ventilu - FB66	24
Obr. 11 Aktivitní diagram poruchy chodu	26
Obr. 12 Nastavení typu teplotního sensoru v AI kartě	29
Obr. 13 Využití UDT	29
Obr. 14 Schéma komunikace mezi PLC a vizualizací [10]	31
Obr. 15 Zapouzdření protokolu S7 [13]	32
Obr. 16 Rozdělení dat pro komunikaci s PLC	32
Obr. 17 Tabulka objektu PmCommData přijímající data z PLC	33
Obr. 18 Nastavení identifikátoru proměnné	33
Obr. 19 Struktura dat pro klientskou část vizualizace	33
Obr. 20 Přiřazení proměnné odkazující na klientskou část	34
Obr. 21 Webové vlastnosti objektu PmData	34
Obr. 22 Síťové nastavení	34
Obr. 23 Diagram čtení dat na straně klienta	35
Obr. 24 Část diagramu topologie obsahující chladicí systém	36
Obr. 25 Záhlaví vizualizace	37
Obr. 26 Oddíl menu	37
Obr. 27 Tooltip prvků ve vizualizaci	37
Obr. 28 Hlavní panel chlazení – chladicí okruh a ventilace	38
Obr. 29 Část panelu - nastavení parametrů reléového regulátoru	38
Obr. 30 Část panelu – elektrolýza	39
Obr. 31 Pravá strana panelu chlazení	39
Obr. 32 Panel přehled	39
Obr. 33 Dialogové okno čerpadla	40
Obr. 34 Dialogové okno ventilu	40
Obr. 35 Stav klapek, otevřeno, zavřeno, otevírající se, zavírající se, porucha	42
Obr. 36 Stav trojcestných ventilů	42
Obr. 37 Aktivitní diagram - Reakce ikon	43
Obr. 38 Slova života Akte <> FoPa	45
Obr. 39 Požadavek chlazení AkTe <-> FoPa	45
Obr. 40 Stavový diagram automatického režimu	46
Obr. 41 Aktivitní diagram automatického běhu	46
Obr. 42 Diagram sání ventilace	47

Obr. 43 Trojcestný směšovací ventil v automatickém režimu	48
Obr. 44 Regulace požadované polohy ventilu s hysterezí v závislosti na teplotě vody.....	49
Obr. 45 Potvzení nastavení cesty ventilace.....	50
Obr. 46 Simulace nastavení klapky ventilace v automatickém režimu.....	51
Obr. 47 Simulace nastavení polohy ventilu v automatickém režimu.....	52

Seznam tabulek

Tab. 1 Typy palivových článků [1]	14
Tab. 2 Přídavná karta pro ET200SP.....	19
Tab. 3 Struktura statusu modulu [17].....	28
Tab. 4 Maximální délka dat v celku [14]	32
Tab. 5 Symbolika vizualizace	41
Tab. 6 Stavby ikon	42
Tab. 7 Stavby sání a výfuku v automatickém režimu	46
Tab. 8 Polohy trojcestného ventilu v automatickém režimu.....	48

1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá řízením a vizualizací chladicího systému energetického centra ENET ve Vítkovicích. Po první etapě revitalizace provozu laboratoře, kdy došlo k přepracování struktury řízení laboratoře, nastala nutnost pro vytvoření nové vizualizace a řídicího systému pro chladicí systém. Na revitalizaci pracovali tři studenti, z nichž dva pokračují stále v práci v laboratoři a se kterými jsem spolupracoval.

Vodíková laboratoř, jejímž chladicím systémem se zabývám, je jednou z částí celku, který má uchovávat a generovat elektrickou energii. Proto je prvním krokem seznámení se s laboratoří jako s celkem. Dále budu provádět analýzu zapojení technologií vodíkové laboratoře, a to palivových článků, elektrolyzérů, měničů a také řešení chladicího systému složeného z více okruhů. Tuto část ulehčila skutečnost, že při revitalizaci byla vytvořena chybějící dokumentace.

Řízení chladicího systému už bylo řešeno, v PLC byl program, který je nutné přepracovat. Původní program byl z části uzamčen a tak nejen těžko ověřitelné části budou nahrazeny zcela novými. Zároveň musí program odpovídat přepracované struktuře systému.

Součástí práce bude popis a realizace režimů řízení. Tyto režimy budou zprvu dva, a to ruční a místní. Při implementaci programu těchto režimů jsem předem počítal s přidáním třetího režimu automatického, aby nemuselo docházet k velkým zásahům do již vytvořeného programu.

Dále se práce zabývá vytvořením vizualizace pro chladicí systém. Panely vycházely stylově z vizualizace vytvořené pro řízení palivových článků. Výhodou při tvorbě vizualizace je, že se práce zabývá vytvořením řídicího systému, kde jsem získal dobrý přehled o struktuře zasílaných dat.

V rámci revitalizace laboratoře palivových článků se na závěr věnuji implementaci automatického režimu pro chladicí systém.

V závěru hodnotím průběh realizace práce a dosažené výsledky.

2 Popis provozu laboratoře palivových článků

Tato kapitola popisuje provoz a vybavení laboratoře, která slouží jako výzkumné centrum pro rozvoj a vývoj energetických technologií. Hardwarová část laboratoře, která zasahuje do chladicího systému, se dá rozdělit na dvě části, a to řízený systém a řídicí systém.

Řízený systém je rozdělen do více celků podle technologií, podle tohoto rozdělení byl rozdělen i řídicí systém, kde jednotlivé technologie obstarávají jednotlivá PLC.

2.1 Řízený systém

Řízeným systémem se skládá z několika menších celků, jedná se o palivové články, které slouží k přeměně vodíku na elektrickou energii, dále o elektrolyzéry, které z vody pomocí elektrické energie vyrábějí vodík a mohou tak uchovávat energii v jiné formě. Jedná se také o chladicí okruh, jenž zajišťuje vhodné podmínky pro ostatní celky. V centru jsou i další systémy např. pyrolýzní systém, konvertor syntézních plynů, fotovoltaika, avšak ty nejsou součástí této práce, a proto nebudou popsány.

2.1.1 Palivové články

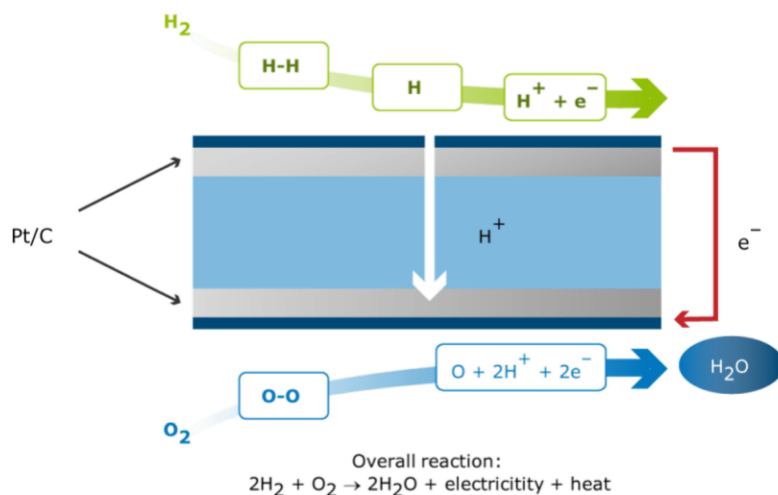
Palivový článek je v podstatě baterie, která generuje elektrickou energii z elektrochemické reakce. Jako externí zdroje článku slouží kyslík a vodík, který je označován jako palivo, proto se říká palivovému článku palivový, ačkoli nedochází k žádnému spalování. Tato elektrochemická oxidace vodíku je účinným způsobem získání energie. Na rozdíl od klasické baterie může pracovat nepřetržitě, pokud jsou zajištěny zdroje paliva.

Všechny palivové články jsou založeny na stejném principu. Skládají se ze dvou elektrod, které jsou odděleny pevným nebo kapalným elektrolytem, ten přenáší elektricky nabitě částice mezi nimi. Často se používá i katalyzátor k urychlení reakce na elektrodách.

Obecně na anodě reaguje vodík s katalyzátorem, vzniká kationt (pozitivně nabitý ion) a elektrony. Kationt pak prochází elektrolytem na katodu, zatímco elektron prochází obvodem, vzniká tak proud. Na katodě kyslík reaguje s kationty a elektrony za vzniku vody a tepla.

Typy palivových článků se běžně klasifikují podle povahy elektrolytu, jenž používají. Každý typ má teplotní rozsah, ve kterém může pracovat, specifické palivo a katalyzátor.

[1][2]



Obr. 1 Princip PEM článku [4]

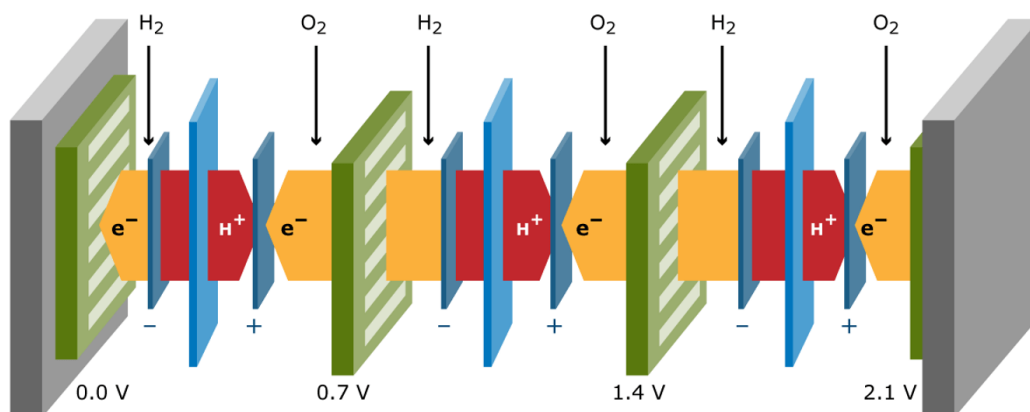
Tab. 1 Typy palivových článků [1]

Zkratka	Typ PČ	Elektrolyt	Katalyzátor	Palivo	Provozní teplota
PEM	PČ s polymerní membránou	Kyselá polymerní membrána na bázi vody	Na bázi drahých kovů Pt	Vodík	50 °C–100 °C
SOFC	PČ s tuhými oxidy	Neporézní keramická sloučenina	Nevyžaduje	Uhlovodíky	800 °C–1000 °C
AFC	Alkalické PČ	KOH (hydroxid draselný) ve vodě	Niklový	Vodík	~70 °C
DMFC	Přímý metanolvý PČ	Polymerní membrána na bázi vody	Anoda Pt–Ru Katoda Pt	Metanol	60 °C–130 °C
PAFC	PČ s kyselinou fosforečnou	Kapalná kyselina fosforečná	Platinový	Vodík	~180 °C
MCFC	PČ s tavenými uhličitany	Roztavené uhličitany v porézní keramické matici	Nevyžaduje	Syngas	~650 °C

V laboratoři je nainstalováno 5 zásobníků s PČ od firmy Nedstack, každý zásobník obsahuje 64 PEM článků zapojených do série.

PEM články používají jako elektrolyt kyselou polymerní membránu na bázi vody. Typicky je zdrojem paliva čistý vodík ze skladovacích nádrží, protože PČ operuje za nízkých teplot, v tomto případě okolo 65 °C. Jako katalyzátor na elektrodách jsou používány vzácné kovy jako platina. Membrána musí být nasycena vodou, aby fungovala jako nosič protonů. Kombinace vody a kyseliny sulfonové umožňuje kationtům vodíku procházet membránou, takže je nezbytné zvlhčení membrány. Membrána je také slabě propustná pro plyny, jako je vodík, kyslík a dusík. [1][4]

Srážená vlhkost na membráně snižuje její účinnost, tento problém se řeší profouknutím membrány. Napětí na jednotlivých PČ by měla být v rozsahu 0,4 V až 1 V. Max 1,23 V a minimálně 0,3 V. Zásobník má diagnostické zařízení pro monitorování parametrů článků, které komunikuje přes CAN sběrnici. [11]



Obr. 2 Zásobník PEM článků [4]

Jako médium pro chlazení palivových článků se používá buď demineralizovaná voda nebo speciální chladicí kapalina s nízkou elektronickou vodivostí. [5]

2.1.2 Měníče

Struktura akumulace se skládá ze tří silových sběrnic. Střídavá pro připojení do rozvodné sítě a pro připojení střídavých generátorů elektrické energie. Dvě stejnosměrné s rozdílným jmenovitým napětím k připojení akumulátorů a také pro připojení stejnosměrných generátorů elektrické energie jako palivové články, nebo spotřebičů – elektrolyzéry. Propojení mezi stejnosměrnou a střídavou sběrnicí je zajištěno pomocí soustavy AC/DC polovodičových měničů. Tyto měniče jsou schopny pracovat s obousměrným tokem energie. Propojení prvků se stejnosměrnou sběrnicí a propojení stejnosměrných sběrnic je realizováno pomocí vazebních DC/DC měničů. [6]

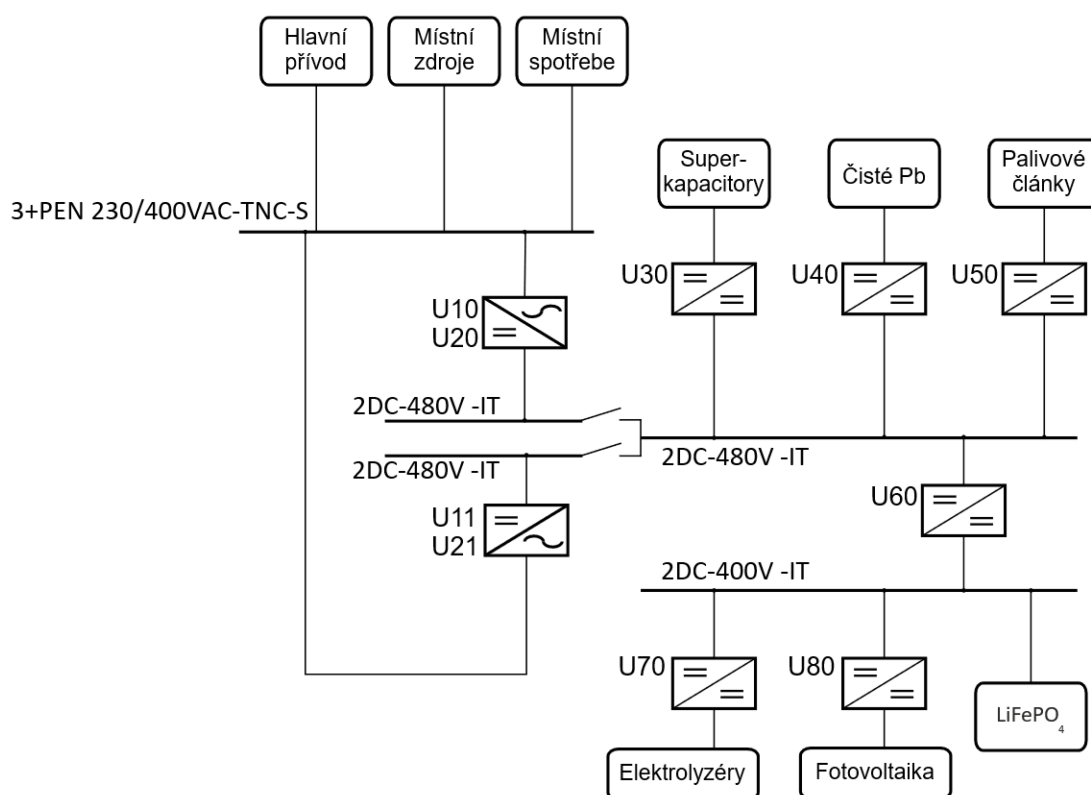
DC/DC měnič s označením U50 nastavuje výkon palivových článků pomocí své zátěže. Do hlavní rozvodné sítě je energie předávána až z olověných baterií za měničem.

Kromě olověných baterií je připojen i lithium-železo-fosfátový akumulátor. Jsou na rozdílných stejnosměrných sběrnicích, které jsou propojeny vazebním měničem U60.

Měníče jsou chlazeny samostatnou větví, teplota nemusí být na určité hodnotě, ale nesmí překročit limitní hranici.

U výkonového polovodičového měniče může docházet k přehřátí kondenzátorů v jeho meziobvodu, kondenzátory jsou sice schopny pracovat s provozními teplotami do 85 °C, avšak jejich životnost se v tom případě zkracuje. [6]

Teplota vody ve větvi chladící měniče, je měřena na dvou místech a to za ventilem a na výstupu z okruhu. Stejně tak větev střídačů a tlumivek.

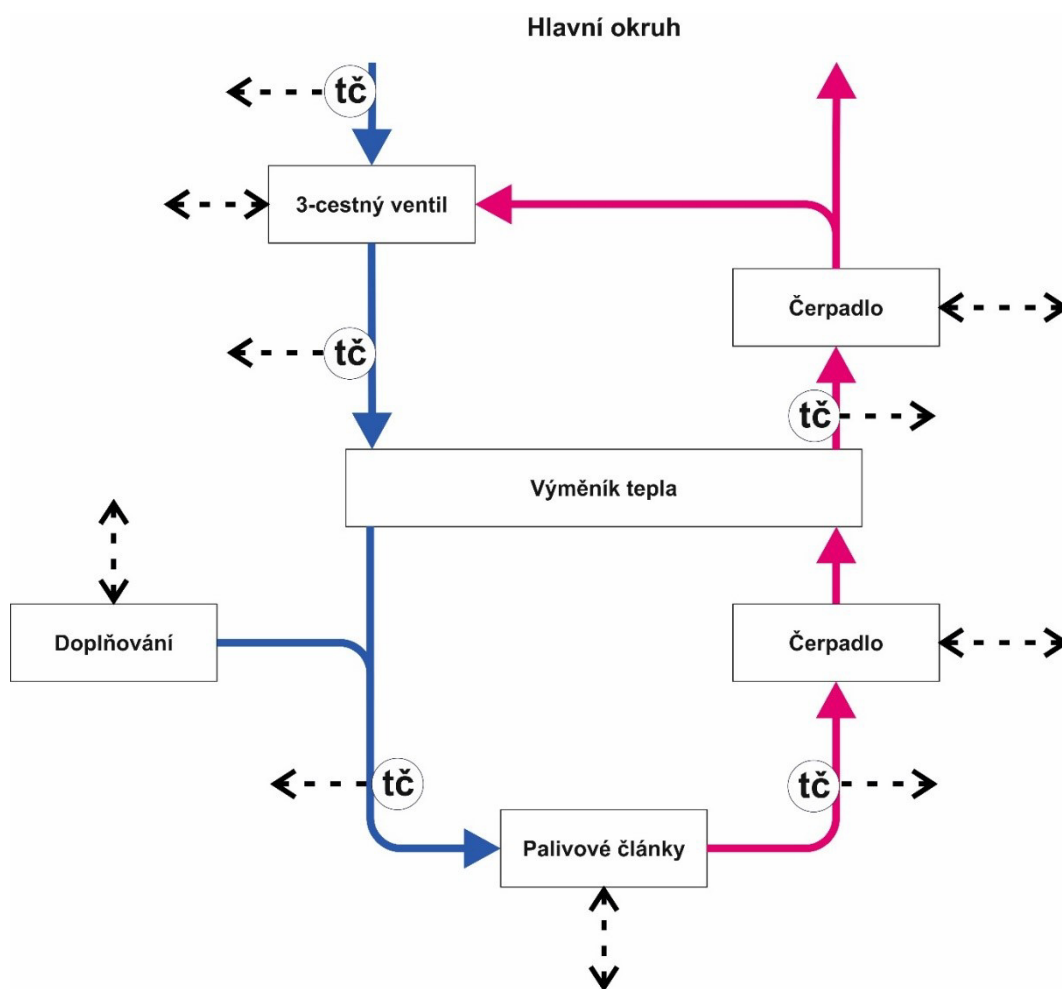


Obr. 3 Principiální schéma soustavy akumulace elektrické energie

2.1.3 Chlazení

Jedná se o vodní chlazení, kdy hlavní okruh je chlazen centrálním ventilátorem. Tento hlavní okruh má několik větví, které slouží k regulaci teploty pro jednotlivé aplikace. Zpravidla je ve větvi trojcestný ventil a čerpadlo, které zajišťuje průtok vody. Ve větvích se zaznamenává průtok, teplotní čidla jsou nainstalována u vstupů a výstupů z větví. PČ mají vlastní okruh, jenž je oddělen od hlavního výměníkem tepla firmy Tranter. Tento okruh má vlastní čerpadlo, ventil a čerpadlo pro doplňování vody. Okruh u samotných palivových článků je oddělen, kvůli požadavkům na chladicí médium, zdroj obyčejné vody není dostačující.

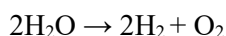
Teplota PČ se má pohybovat kolem 65°C, jelikož se jedná o ideální pracovní teplotu článků, teploty jsou měřeny jak na jednotlivých zásobnících, tak na vstupu a výstupu celé sestavy. Při výrazně jiné teplotě ztrácí PČ účinnost.



Obr. 4 Schéma větvě zajišťující chlazení palivových článků

2.1.4 Elektrolyzéry

Elektrolýza je proces, při kterém stejnosměrný proud při průchodu vodným roztokem štěpí chemickou vazbu mezi vodíkem a kyslíkem:



H⁺ poté reaguje na katodě za vzniku plynu, který je jímán a následně skladován. Proces elektrolýzy probíhá za pokojových teplot a pro jeho chod je nutná pouze elektrická energie. [3]

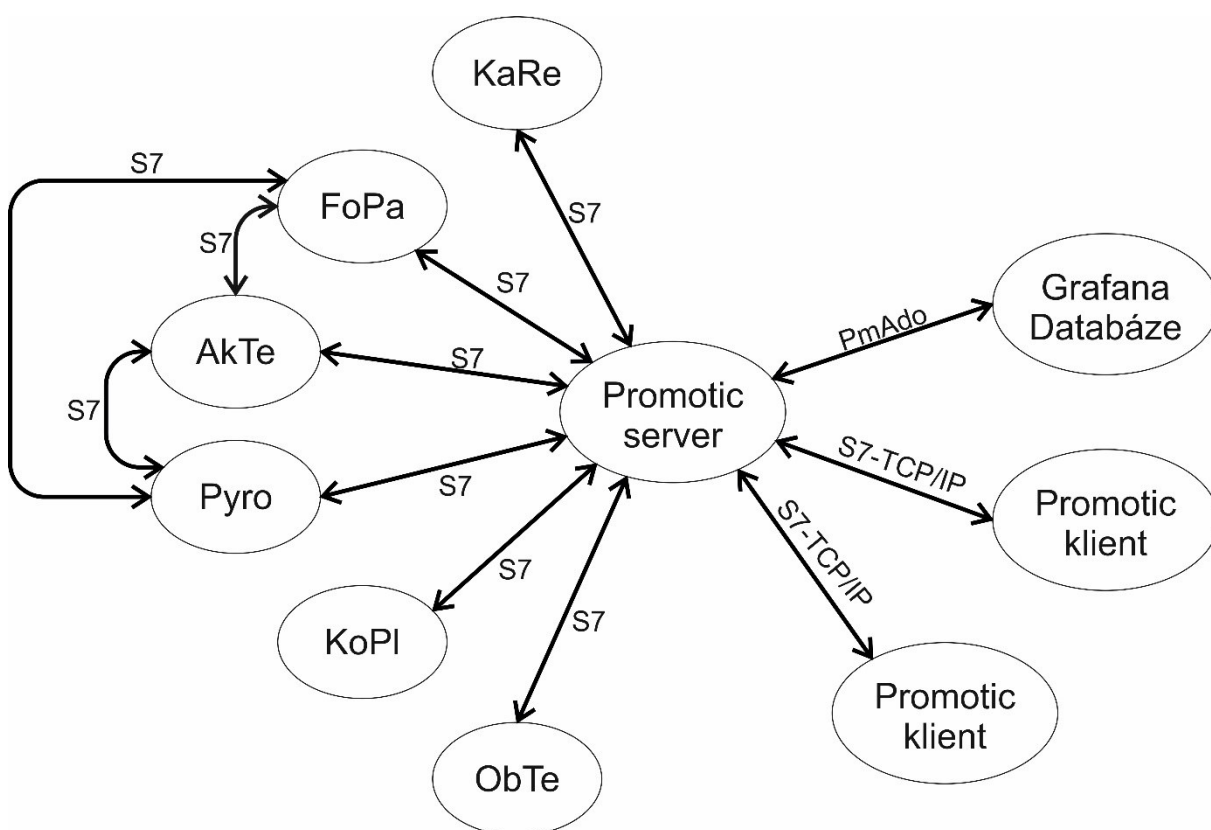
Jedná se tak o formu uložení elektrické energie ve formě vodíku.

Elektrolyzéry nejsou připraveny k provozu v automatickém režimu, je zde pouze předpoklad, že by teplota chladicí kapaliny neměla překročit limitní hodnotu.

2.2 Řídicí systém

Centrum ENET je nově řízeno systémem s distribuovanou strukturou. Jednotlivá PLC, která si řeší svoje úkoly, původně nekomunikovala přímo mezi sebou, velké objemy dat způsobovaly dlouhé odezvy a velká zpoždění v komunikaci. [11]

PLC jenž řeší chlazení má název Akumulace tepla – AkTe, zkráceně PS80. Řízení systému bylo realizováno produkty od firmy Siemens. Komunikace přes Profinet a pomocí protokolu S7 je u zařízení Siemens běžná.



Obr. 5 Schéma struktury řídicího systému a jeho datových toků

2.2.1 Programovatelný logický automat

PLC obsahuje procesorovou jednotku SIMATIC S7-400H, CPU 412-5H.

Ta je napájena zdrojem PS407 z řady SIMATIC S7-400. Ten může být napájen jak 230 V tak 120 V. Na výstupu může mít pro 5 V DC maximálně 10 A pro 24 V DC pak 1 A.

PLC je umístěno v rozvaděčové skříni v řídicím centru.

Jedná se o redundantní systém, který je odolnější proti případným poruchám na PLC. Jedná se o dvě totožné sestavy, které jsou propojeny optickým kabelem. Při selhání prvního PLC ho nahradí

záložní. Nedojde tak k situaci, kdy se musí ostatní procesy podřídít selhání a zastavit činnosti, které by mohly vést k nebezpečným situacím. [7] [8]

CPU komunikuje přes PROFIBUS DP s periferiemi, rozhraní Profinet je využito k připojení do ethernetové sítě pro komunikaci mezi PLC a také serverem vizualizace. Podrobné parametry jsou na stránkách výrobce. [12]

CPU je bohužel programovatelné pouze v prostředí STEP 7, to je dlouho nevyvíjeno, ale funguje na nejběžnějším operačním systému Windows 10.



Obr. 6 Programovatelný logický automat S7 400H

2.2.2 Vzdálené periferie

K PLC byla připojena jedna vzdálená periferie od firmy Siemens a to ET200SP. Tento typ periferie, ke kterému je možno připojit až 32 modulů, je k PLC připojen pomocí průmyslové sběrnice Profibus DP. K této periférii je připojeno 17 modulů.

Hlavní částí je komunikační modul, s označením 6ES7153-6BU00-0CN0.

Tato periferie má na starost snímání teplot vody u ventilů a u jednotlivých chlazených prvků. Dále ovládá a snímá stavy ventilů, klapek a ventilátorů.

Tab. 2 Přídavná karta pro ET200SP

Slot	Název	I adresa	Q adresa
1	DI16 x DC24V ST	0...1	
2	DI8 x DC24V ST	2	
3	DI16 x DC24V ST	3...4	
4	DQ16 x DC 24V / 0,5A ST		0...1
5	DQ16 x DC 24V / 0,5A ST		2...3
6	AI4 x RTD/TC 2-,3-,4- wire HF	512...519	
7	AI4 x RTD/TC 2-,3-,4- wire HF	520...527	
8	AI4 x I 2-,4- wire ST	528...535	
9	AI4 x RTD/TC 2-,3-,4- wire HF	536...543	
10	AI4 x RTD/TC 2-,3-,4- wire HF	544...551	
11	AI4 x RTD/TC 2-,3-,4- wire HF	552...559	
12	AI4 x RTD/TC 2-,3-,4- wire HF	560...567	
13	AI4 x RTD/TC 2-,3-,4- wire HF	568...575	
14	AI4 x I 2-,4- wire ST	576...583	
15	AQ4 x U/I ST		512...519
16	DI8 x DC24V ST	5	
17	Server modul	854...591	

2.2.3 Senzory

Většina analogových vstupů je pro informace z teplotních čidel. Jedná se o senzory s tenkovrstvým niklovým odporem (Ni1000), které mají rozsah pracovních teplot od -60 °C do 250 °C. Zbylé analogové vstupy jsou manometr tlakové ztráty a senzor měření otáček ventilátoru.

Tlaková ztráta -0.5 až 2.0 kPa.

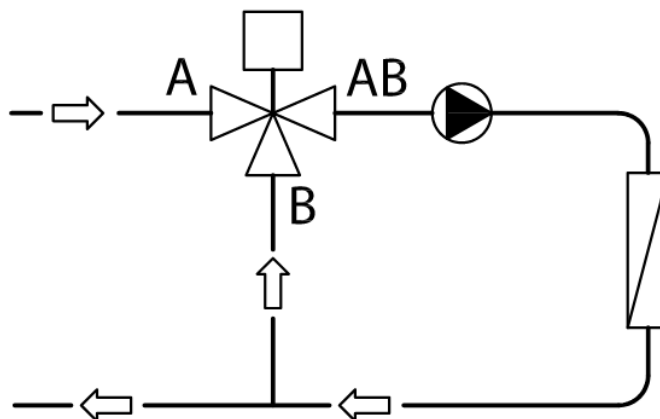
Otáčky ventilátoru 0-100 %.

V technologii jsou prvky signalizující přehřátí, tlakové spínače pro signalizaci malého tlaku a snímače hladiny. Tyto prvky indikují změnu bitovou hodnotou. V samotných okruzích jsou ještě snímače průtoku.

2.2.4 Akční prvky

Mezi akční prvky patří trojcestné a solenoidové ventily, sloužící k ovládání toku vody. Pro ovládání proudění vzduchu jsou zde klapky. Pro samotné rozproudění chladicího média jsou v systému nainstalována čerpadla a ventilátory. Tyto prvky se ovládají jen pomocí bitových příkazů. Velkou část digitálních vstupů zabírají informace o stavu těchto prvků z koncových snímačů.

Trojcestné ventily VRB3 od firmy Danfoss jsou zapojeny jako směšovací do směšovací aplikace. Jejich maximální pracovní teplota je 130 °C. Jsou ovládány servopohony AMV(E) 435, zpětná vazba polohy je možná jen pomocí koncových snímačů.



Obr. 7 Směšovací ventil [9]

Typů čerpadel je více o různých výkonech, všechna jsou mokroběžná od firmy Wilo, při sepnutí běží čerpadla neregulovaně v nejvyšším stupni pevných otáček.

Napájena jsou standardně 230 V AC 50 Hz. Maximální teplota chladícího média čerpadel je 110 °C (při teplotě okolí 25 °C).

3 Realizace manuálního režimu provozu

Manuálním řízením rozumíme ovládání systému přímo z vizualizace. Využívá se pro testování, ale i při selhání automatického řízení, kdy můžou být potřebné další zásahy do systému. K tomu je potřeba i zpracování vstupních signálů, jejich zpracování a indikace stavů prvků.

PLC obsahovalo starý program, jenž nebyl aktualizován při změnách systému. Program byl realizován v jazycích STL, FBA a LAD, kdy jeho části nebyly dostatečně popsány. Část funkcí a datových bloků nebyla v programu vůbec využita. Velké části programu byly nepřehledné.

Část programu byla autorsky uzamčena a nešlo do ní nahlédnout, natož ji upravovat. Kvůli nedostatečnému popisu byly tyto části označeny za nefunkční.

3.1 Popis použitých bloků

Program byl realizován v jazycích STL a LAD. V programových blocích je základní strukturou tzv. network, pomáhá rozdělit kód na více přehledných částí, které jsem vhodně okomentoval.

OB1 – Hlavní blok programu

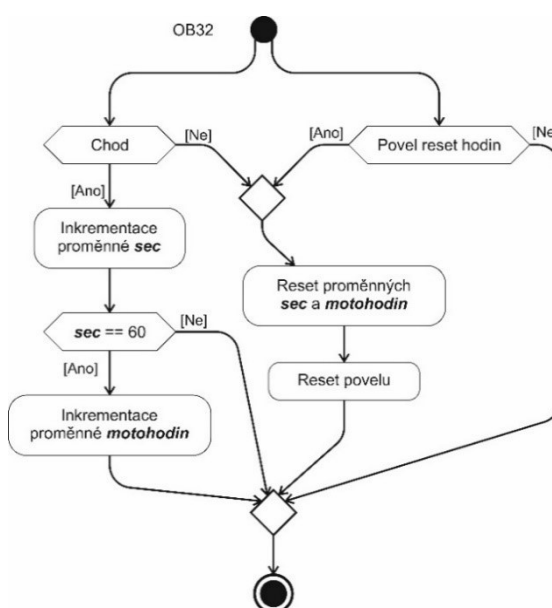
Tento blok se vykovává v každém cyklu PLC.

V první řadě obsluhuje čtení systémového času. Jelikož v PLC nešlo nastavit systémový paměťový bit ani hodinové bity, tak jeden network obsahuje nastavení bitů, které vždy vrací logickou 1 a logickou 0. Dále se z něj volají všechny funkce, které mají proběhnout každý cyklus. Kromě nich se tady pomocí povelu nastavuje bit pro kvitování poruch, který je na konci cyklu resetován.

OB32 – Periodické přerušení

Blok s periodou 1 s.

V tomto bloku je realizováno počítadlo motohodin pro všechna čerpadla a ventilátory. Čas, jak dlouho prvky běží, je uváděn v minutách, tento čas je resetován buď povelu z vizualizace nebo při přerušení chodu prvku.



Obr. 8 Aktivitní diagram počítadla motohodin v cyklickém přerušení OB32

OB33 – Periodické přerušení

Blok s periodou 500 ms.

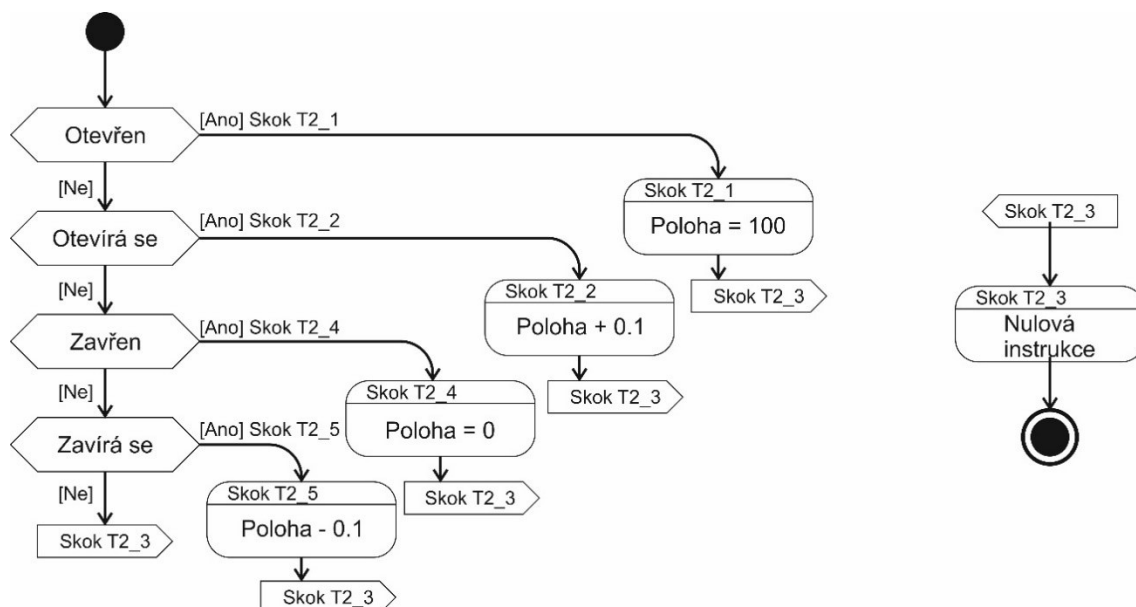
Jelikož nejdou nastavit tzv. clock memory bits, tak je v tomto bloku uměle vytvořen bit s 500ms pulsem.

OB35 – Periodické přerušení

Blok s periodou 100 ms.

V tomto bloku se počítá simulovaná poloha trojcestných ventilů, které mají jenom koncové snímače. Ty odpovídají stavům otevřeno zavřeno. Poloha je mezi 0 % a 100 %. Hodnotu, o kterou se poloha mění byla získána časem, za jak dlouho dojde ventil z plně zavřeného stavu do plně otevřeného.

Kdyby byla poloha ventilu měněna opakovaně dlouhodobě a zároveň se nedostal ventil ani jednou na jeden z koncových snímačů, nemusí tato hodnota přesně odpovídat reálné poloze ventilu. Tento problém řeší funkce pro řízení trojcestných ventilů.



Obr. 9 Poloha trojcestného ventilu větve M – PAC02_AA001

OB72

Blok volaný při chybě redundance.

OB82

Blok pro ošetření chyby vstupů a výstupů. Blok je spuštěn při změně statusu, poté dojde k nastavení bitu požadavku na diagnostiku vzdálené periferie. Z dočasné proměnné bloku vyčteme adresu periferie, ve které došlo k chybě. K PLC je připojena jen jedna periferní jednotka ET200SP s adresou 8177 (0x1FF1), stačilo by tedy mít ve funkci obsluhující diagnostiku tuto adresu, avšak takto je aplikace připravena na případné změny.

Diagnostika nemusí probíhat periodicky a nezatěžuje tak PLC.

Ostatní OB, jenž nejsou naprogramované, přepnou CPU do STOP módu, když jsou zavolány.

OB85

Blok pro ošetření chyby nenahrání OB.

OB86

Blok pro ošetření chyby ztráty racku.

OB100

Inicializační blok, pomocí kterého nastavíme prvotní režim jednotlivých prvků. Jako prvotní režim byl zvolen ruční režim. Dále se v tomto bloku inicializují paměťové bity pro logickou 1 a 0.

OB121

Blok pro ošetření programové chyby.

OB122

Blok pro ošetření chyby modulu.

FB50 CLK_CPU – Zpracování systémového času procesoru

Při zavolání tohoto funkčního bloku se vyčte systémový čas a uloží do pomocných proměnných.

FB61 Volba_Rezimu

Funkční blok volaný dalšími funkcemi pro nastavení režimu. Blok má 6 vstupů, jak pro každý režim, tak i pro jejich hromadné povely. Přepínání režimů je jednoduché. Povel pro místní režim nastaví pomocný bit, ten slouží i pro reset pomocných bitů ostatních režimů. Povel pro režim automat nebo ruční zase resetují pomocný bit místního režimu a nastaví pomocný bit toho svého. Při více povelích najednou má prioritu ruční režim.

Stav pomocného bitu režim je pak zapsán na výstup bloku.

Na konci bloku se resetují povely.

FB62 Obecne_RM

Tento blok zajišťuje zpracování povelů pro zapnutí a vypnutí čerpadel, ventilátoru Sahary a otevření nebo zavření solenoidových ventilů.

První network nastavuje pomocnou proměnnou pro zapnutí v místním režimu, druhý v ručním režimu. Tyto proměnné jdou nastavit nejen povellem pro zapnutí, ale nastaví se i v tom případě, když byl přepnut režim z místního do ručního nebo naopak a současně proměnná tohoto režimu byla logická 1.

Poslední dva networky resetují povely.

FB65 Klapky_RM

Blok podobný bloku FB62. Zpracovává povely pro zavření a otevření

Klapky pro sání z venku a výfuk ven se ovládají jedním výstupem, podobně jako se ovládají čerpadla, tedy aby klapka byla otevřená, musí být na výstupu logická 1. Rozdíl oproti bloku FB62 je v tom, že klapky pro sání z haly a pro výfuk z haly se ovládají dvěma výstupy. Pro otevření této klapky se na výstupu drží logická 1, dokud koncový spínač klapky nesignalizuje její otevření. Stejně je tomu tak u zavření klapky. Proto jsou přidány dvě proměnné pro zavření ruční a místní. Podobně jako u FB62,

když otevřeme klapku v ručním režimu a poté ji přepneme do místního, tak klapka zůstává otevřená. U venkovních klapek nejsou těmto výstupům přiřazeny adresy.

FB66 3WV_RM (3 way valve)

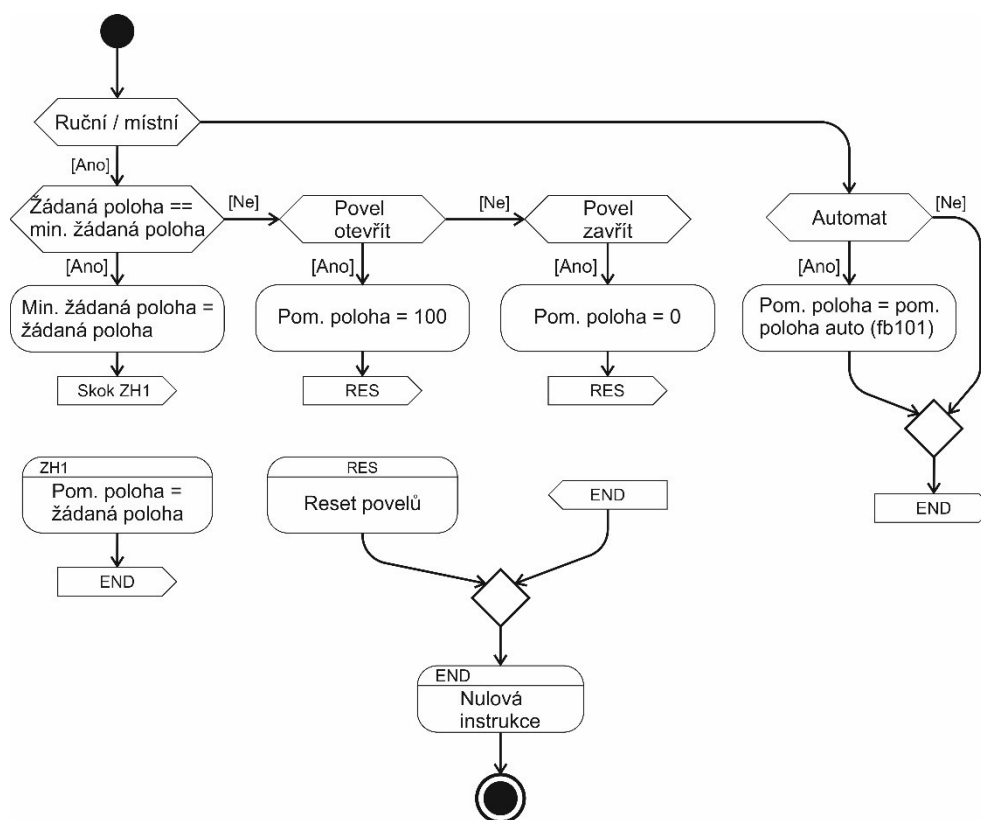
Tento blok má za úkol nastavit požadovanou polohu trojcestného ventilu.

V prvním networku se ověřuje, jestli se v manuálních režimech nezměnila ve vizualizaci požadovaná hodnota. Jestliže ano, tak se přeskočí networky reagující na povely a zapíše se hodnota z vizualizace, následně přeskočí na konec bloku.

Druhý network reaguje na povel otevřít, tudíž zapisuje do požadované polohy 100. Třetí network je pro povel zavřít, tudíž zapisuje 0. Pokud proběhne celý network, přeskočí se na network pro reset povelu.

Pátý network je připraven pro zápis hodnoty v automatickém režimu. Když proběhne, tak také přeskočí na konec bloku.

Poslední networky jsou pro reset povelů.



Obr. 10 Aktivní diagram pro nastavení polohy ventilu - FB66

FB480 FBkomPS80_NRS

Jedná se o upravený převzatý blok volaný z FC480, který má na starost komunikaci mezi PLC Akte a PLC Rozvodna. Z komunikace byly smazány povely reálných hodnot, jelikož stará vizualizace, která se se ještě využívá, držela tyto hodnoty a nešly měnit.

FB481 FoPa_comm

Funkční blok volaný přímo z OB1. Zápis dat na PLC FoPa viz 5.2.

FB482 FoPa_read_comm

Funkční blok volaný přímo z OB1. Čtení dat na PLC FoPa viz 5.2.

FC104 Ob_Stavy

Převzatá fungující funkce, jenž zpracovává obecné stavy, to jsou vstupy jističů, manostatů, termostatů a snímačů hladiny.

FC112 Diag_mereni

Tato funkce se stará o zápis poruch měření, které vycházejí z diagnostiky v bloku FC210

FC127 Vent_vzduch

Upravená převzatá funkce volaná z OB35, doplněná o ovládání režimu a funkce nutné pro automatický chod. Má na starost regulaci ventilátoru vzduchotechniky. Převzato je nastavení PID regulátoru.

FC130 Vent_Klap

Funkce pro řízení klapek ventilace. Je volána přímo z OB1. Obsluhu jednotlivých klapek zajišťuje 13 networků pro klapky venkovní a 14 pro klapky haly.

První network obsahuje funkční blok FB61, který přepíná mezi režimy automatický, místní a ruční.

V druhém networku dochází k nastavení pomocných bitů pro otevření z DB5, u klapek venkovních, se pro stav otevření musí držet na výstupu logickou 1. Proto FB65 nevyužívá dva výstupy (zavření ruční a zavření místní).

Třetí network zajišťuje zápis na výstup pro otevření klapky. Na výstup se zapisuje v případě, že je nastaven pomocný bit pro otevření režimu a zároveň stav klapky je ve stejném režimu. Tedy pomocný bit místní a režim místní. Když je v režimech ručním a automatickým nastaven bit sumární poruchy klapky, tak nedojde k zapsání na výstup.

Pro klapky sání z haly a výfuk do haly je vložen další network, podobný třetímu, slouží k zápisu na výstup pro zavření klapky. U těchto klapek se přestává zapisovat na výstup, když je nastaven bit plného otevření pro otevírání a pomocný bit zavřeno pro zavření. Tyto klapky mají koncový snímač pro signalizaci otevření.

Ve čtvrtém networku simulujeme stav zavření klapky, jelikož klapka v této poloze nemá koncový snímač. Pomocí On delay timeru je nastaven pomocný bit zavření, časovač běží, když není nastaven výstupní bit pro otevření klapky.

Pátý network obsahuje diagnostiku poruchy otevření. Toto může nastat při zaseknutí při otevírání klapky. Bit chyby je nastaven zpoždovacím časovačem se zpožděním 110 s, když je povel pro otevření ale zároveň, koncový snímač nehlásí otevřeno.

Šestý network je pro poruchu zavření, tato část je nevyužitelná, jelikož zde není koncový snímač, tudíž reálně nemůžeme vědět, zdali došlo k zavření. Bit zavření se simuluje programově ve 4. networku.

Sedmý network řeší poruchu koncového snímače. Ta je hlášena, když je zároveň stav zavřen a koncový snímač hlásí stav otevřen.

Osmý network zajišťuje nastavení bitu sumární poruchy, ta je nastavena, když nastane alespoň jedna chyba. Bity poruch se resetují přímo v networkích, kde jsou nastaveny, a to pomocí bitu M100.0 obecného resetu.

Další čtyři networky zapisují do DB180 v jakém stavu se klapka nachází. (Otevřeno, Otvírá, Zavřeno, Zavírá)

Poslední networky resetují povely, které nebyly resetovány ve FB v prvních networkcích.

FC131 Vent_Sol

Tato funkce je pro ovládání solenoidových ventilů, určených k doplňování vody do okruhů. Podobně jako u minulé funkce, první dva networky se starají o nastavení režimů a nastavení pomocného bitu pro otevření pomocí povelů. Třetí network obsahuje prostor pro automatický režim, ale automatické doplňování vody nebylo implementováno.

Čtvrtý network obsahuje nastavení výstupního bitu, další network ukazuje, v jakém stavu se ventil nachází. Poslední části nastavují bity případných poruch.

FC133 Vent_Sahara

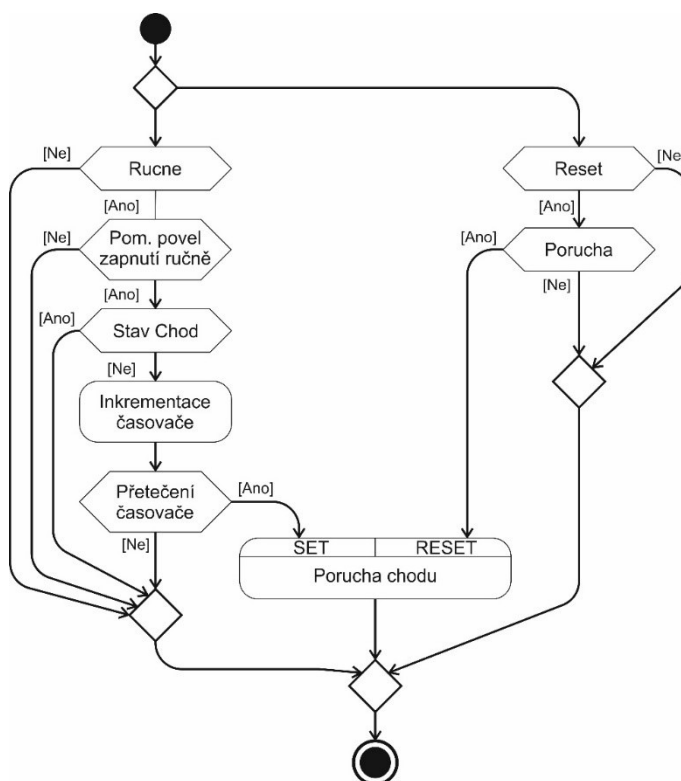
Funkce, která má na starost řízení ventilátoru Saharu pro elektrolyzér.

První dva networky opět řeší přepínání režimů a reakci na povely v ručním a místním režimu.

Další network podle vstupů určuje, zda je ventilátor v chodu nebo v klidu.

Pro ventilátor společně s čerpadly ukládáme a posíláme do vizualizace hodnotu, jak dlouho jsou v chodu. Pátý a šestý network má na starosti zpracování povelu, pro reset této hodnoty, a poté resetování povelu.

Další networky řeší poruchu chodu a klidu. Když jsou nastaveny povely pro chod nebo klid, a zároveň ventilátor není v požadovaném stavu po dobu nastavenou časovačem na 5 s, dojde k indikaci poruchy. Poruchy jsou nastavovány pomocí Set-Reset bloků, je zde implementováno resetování poruch pomocí již zmíněného paměťového bitu M.100.



Podle těchto dvou poruch a poruchy napájecího napětí, kterou diagnostikujeme díky vstupu motorového chrániče Sahary, nastavujeme sumární poruchu ventilátoru.

Na konci funkce se zajišťuje nastavení výstupních bitů pro chod Sahary, ta má dva výstupy, menší a větší otáčky. Avšak aby ventilátor reálně byl v chodu, musí se sepnout oba tyto bity.

FC134 3WV_Ventily

Tato funkce zajišťuje obsluhu trojcestných ventilů třech okruhů. Pro každý trojcestný ventil je použito 19 networků.

První network tradičně zajišťuje přepínání režimů jednotlivých ventilů.

Dále je použit funkční blok FB66 pro nastavení pomocné požadované polohy.

Jelikož počítaná poloha ventilu nemusí odpovídat reálné poloze ventilu, tak se při požadované poloze 0 % a 100 % nastavují pomocné bity pro plné otevření a zavření, které poté neberou v potaz vypočítanou polohu.

Další networky počítají rozdíl mezi požadovanou polohou a polohou ventilu. Když je hodnota rozdílu kladná, nastaví se pomocný bit kladného rozdílu. Když je záporná, tak se vynásobí -1.

Tato hodnota se pak porovná, jestli je menší než povolená hystereze. V případě že je, nastaví se pomocný bit *hysterezeOk*.

Aby byl sepnut pomocný bit pro otevření ventilu, tak musí splňovat, že se nejedná ani o plné otevření, nebo zavření, bit hystereze musí být logická 0 a musí se jednat o kladný rozdíl. Zároveň je bit nastaven, když se jedná o plné otevření.

Podobně je tomu u pomocného bitu pro zavření.

V dalším networku probíhá nastavení výstupu podobné předchozím funkcím. Pro režimy automat a ruční je povinností být bez sumární poruchy. Poté je použit pomocný bit z minulého networku, poslední co se kontroluje před nastavením bitu je, jestli došlo ke konečnému otevření nebo zavření. Nepožívá se vstup koncového snímače ventilu, jelikož ten vrací hodnotu, jen když je zároveň zapisováno na výstup ventilu. Tento problém se řeší dále v kódu.

Opět máme networky zajišťující kontrolu poruch, jedná se o poruchu koncového snímače, která nastane, když je ventil ve stavu otevřen i zavřen zároveň. Dále se řeší porucha tepelné ochrany. Vyresetovat jde samozřejmě jen porucha koncového snímače.

Poslední network řeší problém stavu ventilu. Koncový snímač vracel informaci o otevření ventilu jen při příchodu do koncového stavu. Tudíž se nastaví pomocná proměnná při sepnutí koncového snímače. Pomocná proměnná je použita jako podmínka zápisu na výstup. Při předchozí implementaci, kdy byla domněnka, že koncový snímač bude po úplném otevření stále držet hodnotu, způsobilo, že se ovládací relátka pořád přepínala, jelikož vstup ze snímače byl přímo použit, jako podmínka pro zápis na výstup. Stejně je tomu tak u koncového snímače plného uzavření ventilu.

FC135 Cerp

Funkce, jenž se stará o řízení čerpadel je programově velmi podobná FC131_Sol.

Kromě bloku FB61, který používají všechny prvky pro nastavení režimu, má i stejný funkční blok FB62 pro zapnutí a vypnutí v ručním a místním režimu jako solenoidové ventily. Celá funkce obsahuje ke 100 networků, a proto jsem funkci pro ovládaní čerpadel a ventilů, přes jejich podobnost, raději rozdělil kvůli přehlednosti.

Ze vstupu se zaznamená do DB180 bloku, z kterého se čtou data do vizualizace kromě předešlých stavů z minulého networku i informace o chodu nebo klidu čerpadla. Dále se u ventilů řeší motohodiny a jejich reset, porucha timeout (vypršení času pro přechod do stavu) chodu a klidu.

Dále zde sledujeme poruchu napájecího napětí, k diagnostice slouží jistič pro jednotlivé větve technologie.

Pro čerpadla zbývá už jen nastavit výstupní hodnotu, obdobně jako u solenoidový ventilů. U čerpadla doplňování přestane čerpadlo běžet, když je na snímači hladiny hlášen přesah.

FC150 Glo_Rezim

Funkce volaná přímo z OB1, má na starost nastavení režimů pro prvky hromadně. Pod hlavní skupinu patří všechny prvky z vizualizace v okně Akumulace Chlazení, tato skupina má dvě podskupiny Chlazení a Ventilace. Pod Chlazení spadají čerpadla a trojcestné ventily větví M, ST & TL (střídače a tlumivky) a PČ.

Pod ventilaci spadají všechny klapky a pak samotný ventilátor.

Poté co přijde hromadný povel z vizualizace, tak se zapíše do jednotlivých pomocných bitů z DB5. Ty jsou připojeny k funkčnímu bloku FB61, který řídí přepínání režimů všech prvků. Tyto pomocné bity se po provedení povelu resetují.

Hromadný povel pro automatický režim má podmínku, že se ani jeden prvek z dané skupiny nesmí nacházet v místním režimu.

Na konci funkce se resetují hromadné povely.

FC151 Glo_Stav

Tato funkce vyhodnocuje režim jednotlivých skupin. Místní režim má prioritu nad ručním a ruční nad automatickým.

FC152 Modul_diag

Tato funkce slouží k rozeznání stavu na jednotlivých modulech periferie ET200SP. Chceme zjistit zdali není ET200SP odpojena od napájecí sítě a tedy na senzorech je tím pádem neznámý stav.

Tato funkce ještě z DB obsahující diagnostiku periferie zjišťuje stav jednotlivých modulů. Diagnostická data se strukturují podle EN 50 170 Vol. 2, PROFIBUS

Byty 19 a dále obsahují data o modulech, každý byte obsahuje data o 4 modulech. [16]

Tab. 3 Struktura statusu modulu [17]

Bity (2n) +0 a (2n+) 1	Stav modulu
00	Modul Ok
01	Modul error
10	Špatný modul
11	Žádný modul

První tři byty diagnostiky uvádějí přehled o stavu periferie, dále ještě před zmíněnými informacemi o modulech je např. Id výrobce a adresa master zařízení, chyby na modulech. Byty 17 a 18 se nepoužívají. [16]

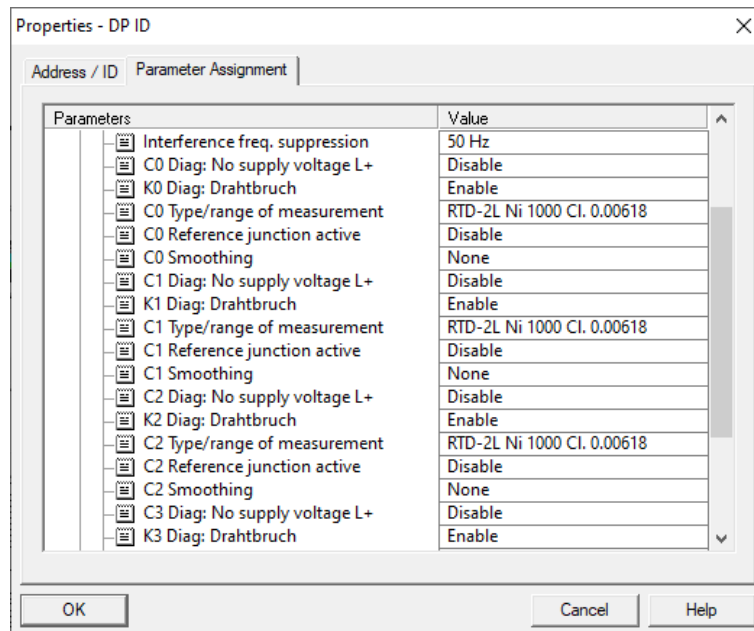
Zjištěné chyby slouží k vypnutí automatického běhu. Zároveň jsou ve vizualizaci v panelu přehled zobrazeny stavy modulů periferie.

FC210 AI_81

Čtení analogových hodnot teplotních čidel a kontrola měření. Výsledná hodnota je ukládána do DB180. Informace o poruše měření je uložena do pomocného datového bloku DB5.

Na čtení teplot z čidel nebylo třeba bloků SCALE. Čtenou hodnotu na vstupu stačilo převést na reálnou hodnotu a poté vydělit 10.

Blok SCALE byl využit pouze pro senzor rychlosti otáček ventilátoru. Hodnota byla nastavena mezi 0 % a 100 %, unipolární.



Obr. 12 Nastavení typu teplotního senzoru v AI kartě.

SFC13 Čtení diagnostických dat ze slave zařízení

Systémová funkce získávající diagnostiku z periferie. Vstupem je adresa v hexadecimálním tvaru a požadavek. Oba tyto parametry se nastaví v OB82. Na výstupu je kód chyby při čtení nebo délka načtených dat. Cílovou oblastí pro uložení dat je DB82.

Čtení je prováděno asynchronně, to znamená že pro získání dat je potřeba volat SFC13 několikrát. Proto je zde i informace o zaneprázdněnosti funkce. Když má tento bit hodnotu logická 0, tak se v OB1 vyresetuje bit požadavku.

DB5 Pom_DB

Datový blok, kde jsou uložena pomocná data. Tato data se někdy mohou použít jako prostředník pro zaslání dat do vizualizace.

Jelikož tento datový blok byl relativně rozsáhlý, využil jsem možnosti uživatelem vytvořených datových typů. To zpřehlednilo programování, jelikož stačilo mít pojmenovaných několik instancí UDT v datovém bloku, pro vytvoření pomocných proměnných např. pro čerpadla.

+100.0	PAC01_AA401pom	"Cerp_pom"		Čerpadlo větev ST a TL
+102.0	PAC02_AA401pom	"Cerp_pom"		Čerpadlo větev M
+104.0	PBA01_AA401pom	"Cerp_pom"		Čerpadlo doplňování PAC03
+106.0	PAA02_AA401pom	"Cerp_pom"		Čerpadlo větev EL
+108.0	PBA02_AA401pom	"Cerp_pom"		Čerpadlo doplňování PAA02
+110.0	PAA01_AA401pom	"Cerp_pom"		Čerpadlo ventil okruh PČ
+112.0	PAC03_AA401pom	"Cerp_pom"		Čerpadlo za výměníkem PČ

Obr. 13 Využití UDT

DB82 DB_Diag

Blok s diagnostickými daty o stavu periferie a jejich modulů z SFC13.

DB180 Vst_St_Hod_PS80

Zde se nacházejí všechna data zasílána na server a do vizualizace. Datové bloky obsahují rezervu, data k výměně jsou na serveru, rezerva tak nezpomaluje komunikaci.

DB181 Parametry PS80

Do tohoto bloku se přijímají hlavně data z vizualizace a to pro nastavení přechodových teplot ventilů.

DB182 Alarmy_PS80

Datový blok s poruchami.

DB183 Pověly_PS80

Datový blok s povely.

DB189 FoPaCommData

Stobitový datový blok, pro komunikaci mezi PLC AkTe a FoPa. PLC FoPa patří prvních 50 bitů a Akte druhých 50 bitů, vzájemně si do nich nezasahují.

4 Vizualizace

Stávající vizualizace komunikuje s PLC pomocí S7 protokolu. Data z databáze jsou dále zobrazována v monitorovací aplikaci Grafana. Pro vizualizaci je využíván na škole vyučovaný systém Promotic. Jedná se o pokročilý systém pro vizualizaci, který je od české firmy Mycrosys.

Tato vizualizace však obsahovala pouze panely k palivovým článkům a informační panely k uložení vodíku. Úkolem bylo vytvořit panely pro chladicí systém a zprovoznění komunikace nutné pro jejich chod.

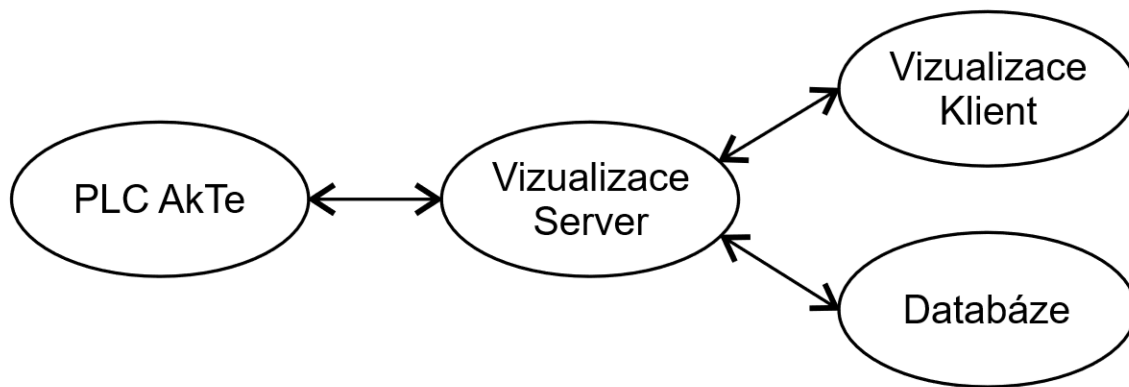
Původní vizualizace chlazení byla na více obrazovkách, byl nový požadavek, aby se veškeré informace vešly na jedinou obrazovku.

Nová vizualizace má tři operátorské režimy. Administrativní, který má veškerá všechna povolení a je určen pro správu vizualizace. Operátorský, který umožňuje zásahy ve vizualizaci a zobrazení INFO systému ve standardním provozu. Poslední režim je určen pro pozorovatele, zde je možné pozorovat jen jednotlivé obrazovky. Je vhodný pro přístup do vizualizace ze vzdáleného pracoviště.

4.1 Topologie komunikace

Serverová část vizualizace slouží pro komunikaci jak s PLC a klientskou částí vizualizace, dále komunikuje s databází, kde je možné provést diagnostiku pomocí grafů a kde se ukládají průběhy řídicích a naměřených hodnot.

Klientská část umožňuje v reálném čase sledovat a ovládat systémy Enetu.



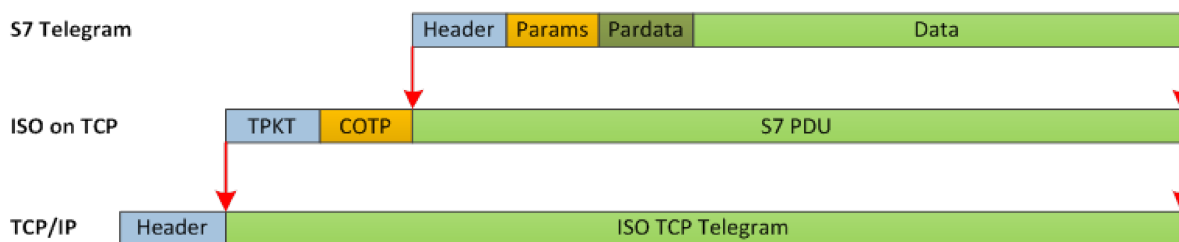
Obr. 14 Schéma komunikace mezi PLC a vizualizací [10]

Data byla kvůli snížení objemu přenášených dat rozdělena na 4 části. Díky doplnku v serverové části vizualizace, který vytváří spojení těchto bloků s datovými bloky v PLC není nutno komunikaci na straně PLC mezi vizualizací a PLC řešit. Tato obousměrná komunikace probíhá pomocí S7 protokolu. Datové bloky v PLC jsou povel, hodnoty, parametry a alarmy.

4.1.1 S7 protokol

Komunikační protokol S7 je od firmy Siemens, jeho implementace v Ethernetu se opírá o ISO TCP (RFC1006), podle toho je blokově orientován. Bloky jsou pojmenovány PDU (Protocol Data Unit),

jejich délka je omezena použitým PLC. Protokol S7 je příkazově nebo funkčně orientován, to znamená, že každý přenos musí obsahovat příkaz nebo odpověď. [14][13]



Obr. 15 Zapouzdření protokolu S7 [13]

Aplikační, prezentační a relační vrstva jsou tedy všechno S7 komunikace, transportní vrstva je ISO-on-TCP a síťová vrstva je IP. Linková a fyzická vrstva jsou formou Ethernetu. [14]

Komunikačních bloků pro zasílání a přijímání dat používá S7 více, kapacita zaslaných dat se liší nejen typem bloku, ale i použitým PLC.

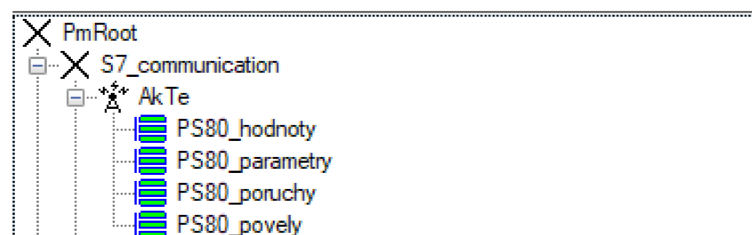
Tab. 4 Maximální délka dat v celku [14]

Blok	Partner: S7-300	Partner: S7-400
PUT / GET	160 bytů	400 bytů
USEND / URCV	160 bytů	440 bytů
BSEND / BRCV	32768/65534 bytů	65534 bytů
PUT_E / GET_E	160 bytů	neexistuje
USEND_E / URCV_E	160 bytů	neexistuje

Původní program využíval bloků BSEND a BRSV, které byly vhodnější díky větší přenosové kapacitě, díky změnám nejsou tyto bloky již potřeba. V programu se využívá např. bloku PUT/GET pro komunikaci mezi PLC.

4.1.2 Serverová část

Slouží k propojení PLC a vizualizace. Data v serverové části jsou rozdělena podle směru zasílání. Např. zasílaná data z PLC (Data_snd) na serverové části jsou z bloku hodnot.



Obr. 16 Rozdělení dat pro komunikaci s PLC

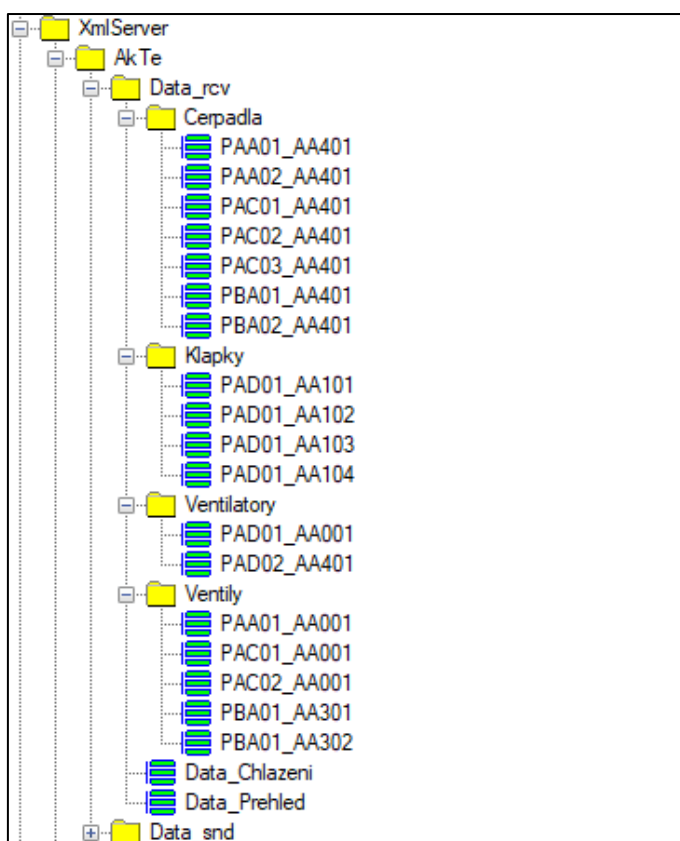
V tabulce datového bloku mají jednotlivé proměnné v datovém rozšíření vlastní identifikátor, který určuje konkrétní adresu v PLC.

Index	Jméno	Datový...	H...	Poznámka	Datové rozšíření
36	PAC02_AA901	Single		Poloha trojcestného ventilu pro okruh M	comm={Comm::DB180,REAL444;1;0;1}
37	PAA01_AA901	Single		Poloha trojcestného ventilu pro okruh palivových článků	comm={Comm::DB180,REAL448;1;0;1}
38	PAD01_AA001_...	Boolean		Ventilátor vzduchotechniky - napájecí porucha	comm={Comm::DB180,X780.0;1;0;1}
39	PAD01_AA001_...	Boolean		Ventilátor vzduchotechniky - ovládací napětí porucha	comm={Comm::DB180,X780.1;1;0;1}

Obr. 17 Tabulka objektu PmCommData přijímající data z PLC

Obr. 18 Nastavení identifikátoru proměnné

Pro komunikaci s klientem jsou data rozdělena nejen podle směru zasílání, ale i pro snadnější manipulaci s daty v klientské části Obr. 19. V jednotlivých tabulkách jsou k proměnným přiřazena umístění z tabulky komunikující s PLC.



Obr. 19 Struktura dat pro klientskou část vizualizace

Proměnná	
Jméno:	PAA01_AA901
Datový typ:	Single
Hodnota:	PP \$db.PP(0,"/S7_communication/Akte/PS80_hodnoty/#vars/PAA01_AA901","Value")

Obr. 20 Přiřazení proměnné odkazující na klienstkou část

Serverová část vizualizace je vytvořena pomocí objektu *PmWeb*, ten může být použit pouze jednou. Objekt umožní, aby aplikace nabízela HTML nebo XML stránky. V tomto případě nejsou v objektu *PmWeb* přímo vloženy další objekty, jako *PmWebFolder*, *PmWebLang*, *PmWebDir* a *PmWebInfo*, ale jsou do něj zaregistrovány objekty nacházející se jinde ve stromu objektů. Je nutné zvolit vhodný identifikátor webové komponenty, pomocí té v klientské části vizualizace rozlišujeme jednotlivé objekty *PmData*. [15]

Uložit	Nápověda	PmRoot > XmlServer > AkTe > Data_rcv > Cerpada > PAA01_AA401 (PmData)
Objekt	Obsah	Události
Metody	+ Data	Oprávnění
Web server		
<input checked="" type="checkbox"/> Povolit jako Web komponentu		
PmWeb objekt:	/XmlServer/Web	
Identifikátor Web komponenty:	paa01_aa401_rcv	
Zobrazovat v HTML seznamu komponent:	<input checked="" type="checkbox"/>	
HTTP adresa této komponenty bude:	http://NázevPočítače:60000/paa01_aa401_rcv	

Obr. 21 Webové vlastnosti objektu *PmData*

Komunikace mezi klientem a serverem v Promoticu funguje pomocí TCP/IP protokolu. Zde byl port již nastavený. Je zde definováno, jak se pak budou jednotlivé bloky volat Obr. 22.

Síťové nastavení	
TCP/IP adresa síťového rozhraní:	Všechna síťová rozhraní
Port TCP/IP:	60000
Pokud je hodnota portu 80 pro HTTP nebo 443 pro HTTPS, pak ve Web prohlížeči je HTTP adresa komponenty: http://NázevPočítače/IdKomponenty/default.htm V jiném případě: http://NázevPočítače:Port/IdKomponenty/default.htm	

Obr. 22 Síťové nastavení

4.1.3 Klientská část

Příjem dat

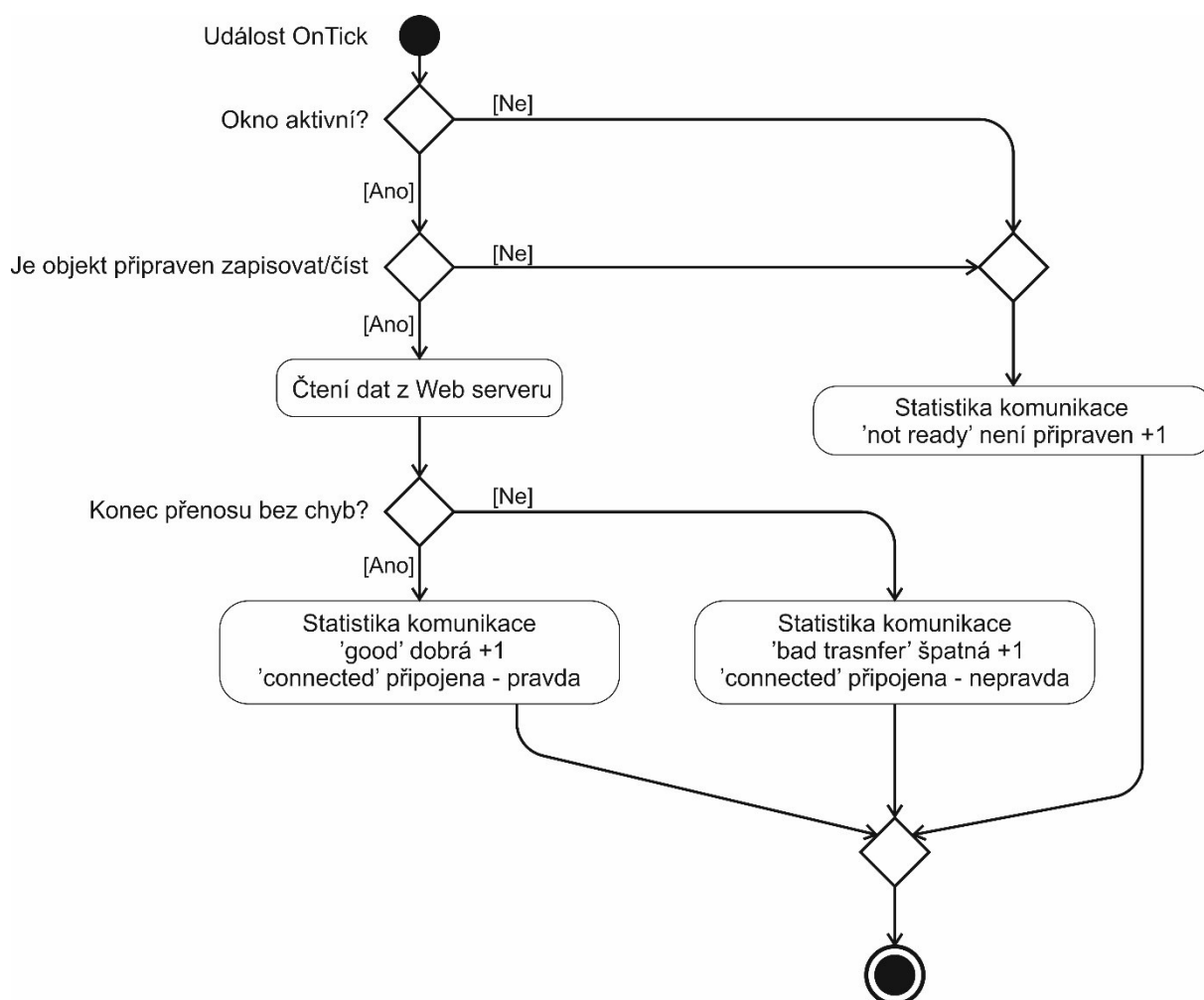
Klientská část vizualizace si sama žádá o data ze serverové části. Přesněji řečeno, žádá si o tabulku dat. Tato tabulka bude ve složce *Data_snd*, a na straně klienta naopak v *Data_rcv*, kde budou následná přijatá data zapsána. Každá jednotlivá tabulka bude obsahovat metodu *Read*.

V té se volá metoda *ReadFromWeb*, ta zajišťuje samotné čtení dat z Web serveru v podobě XML do tohoto objektu. Mezi parametry této metody patří URL adresa dat Web serveru, kde jsou umístěna XML data a dodatečné parametry přenosu. V jeho poslední části je určen tvar dat, zde je zvolena čistá hodnota (purevalue). To je zkrácený textový formát obsahující pouze hodnoty oddělené středníkem.

Tato metoda se vyvolá jen když je objekt připraven zapisovat/číst ze serveru, to obstarává metoda *WebClientIsReady*. [15]

Když se objekt s metodami *ReadFromWeb* nebo *WriteToWeb* dostane do stavu přenášení dat, tak po dobu přenosu nelze nad objektem volat znovu tyto metody a vlastnost *WebClientIsReady* vrací hodnotu false. Po ukončení přenosu již opět lze volat metody a *WebClientIsReady* vrací hodnotu true. [15]

Metoda *Read* se volá v objektu *PmTimer*. Ten má událost, jenž při každém tiknutí časovače zavolá metodu jen těch panelů, které jsou otevřeny. Perioda je 1s. S touto periodou se tedy vyčítají jednotlivá data otevřených oken. Zda-li je okno otevřené je zaznamenáno v jiném objektu *PmData*. Zápis do této tabulky řeší samotná okna při jejich otevření nebo zavření.



Obr. 23 Diagram čtení dat na straně klienta

Po čtení dat z Web serveru se v objektu vyvolá událost *onEndOfTransfer*, pomocí které zjišťujeme, zda přenos proběhl bez chyb.

Zápis dat

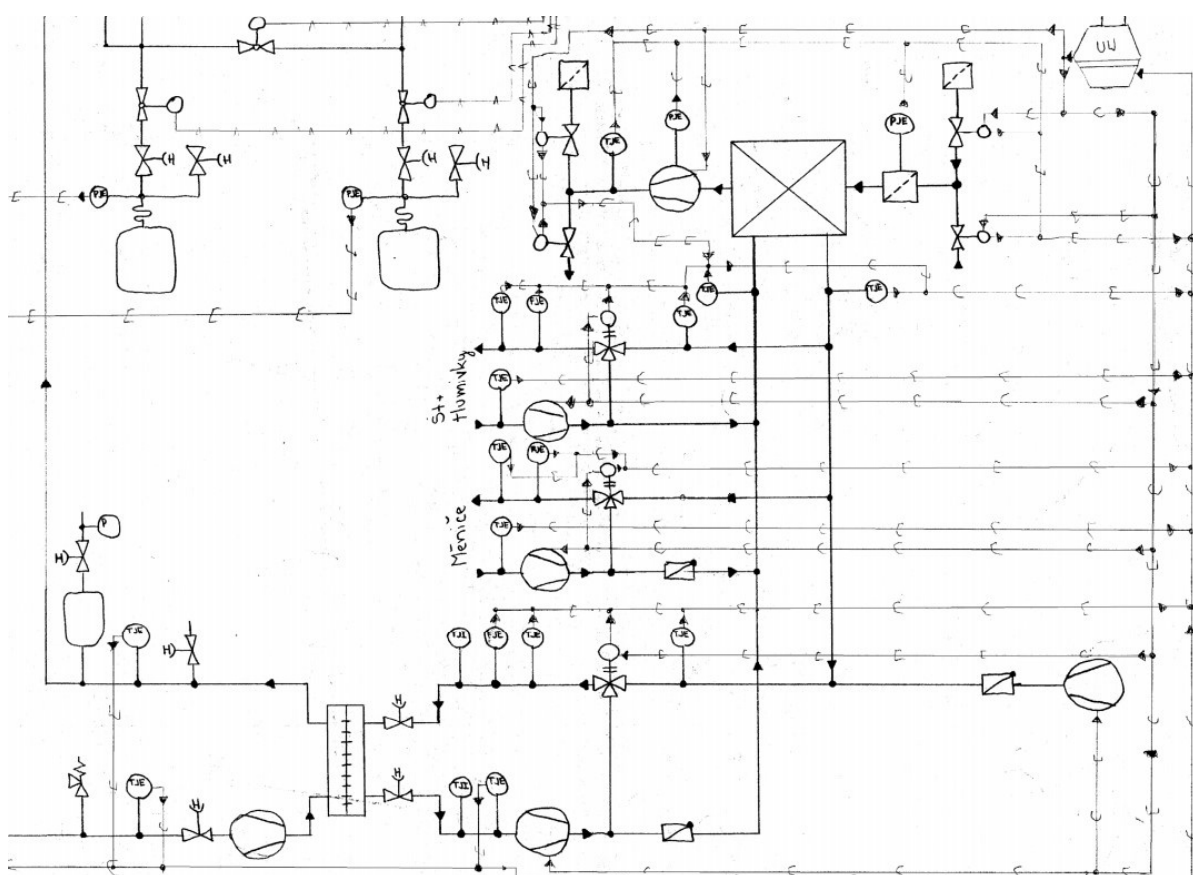
Vizualizace kromě čtení dat musí i zasílat povely nebo požadované hodnoty. Názvy složek se oproti příjmu dat prohodily, tedy logicky odesílané tabulky se na klientské části nacházejí v *Data_snd* a na serveru jsou zapisovány v *Data_rcv*.

Zasílání dat není inicializováno periodicky, ale provádí se pouze při zásahu. Po reakci uživatele a aktivního objektu je vyvolána odpovídající událost, jedná se o *onDataEditAccept* při zápisu požadovaných hodnot nebo *onButtonUp* při stisku tlačítka. Obsluha události zapíše hodnotu do tabulky a vyvolá její metodu pro zápis.

Podobně jako u čtení dat, nejdřív proběhne kontrola zda je objekt připraven zapisovat/číst. Pokud je, tak se vyvolá metoda *WriteToWeb* s parametry přenosu odpovídajícími přijímající tabulce v serverové části, skládající se z URL adresy a pojmenovaných XML dat.

4.2 Rozvržení vizualizace

U návrhu okna vizualizace jsem vycházel jednak ze screenshotu bývalé vizualizace, který mi byl k dispozici, aby aplikace nebyla moc rozdílná a obsluha, která se setkala s bývalou vizualizací se bez problému v nové rychle zorientovala. Dalším velmi užitečným materiálem byl diagram topologie laboratoře vypracovaný doktorandy pracujícími v laboratoři.



Obr. 24 Část diagramu topologie obsahující chladič systém

Nutné bylo, aby panel pro chlazení odpovídal stylem a zpracováním i ostatním panelům, které již byly v nové vizualizaci.

Vizualizace je rozdělena do tří oddílů: záhlaví, menu a středový oddíl pro technologie.

V záhlaví je zobrazeno jaká technologie se zobrazuje ve středovém oddílu. Přes tlačítko *Info* zde jde otevřít souhrn informací, které lze prohlížet ve spuštěné aplikaci ve speciálním okně. Je určen pro projektanty a umožňuje jim zjistit aktuální stav systému, stavy jeho součástí včetně diagnostiky a statistiky. Například lze zjistit hodnoty všech dat v aplikaci, statistiku úspěšnosti přenosu dat přes

sériový port počítače, zobrazit ladící texty zapisované ve skriptech v položce *Debug_info* a mnoho dalších informací. [15]

V nastavení, podle toho z jaké sítě se připojujeme. tak volíme lokální nebo veřejné připojení. Zdali je vizualizace připojená se zobrazuje v pravé části záhlaví.

Info	Akumulace	Připojení k serveru:	Přihlášený uživatel:	Přihlásit
Nastavení	Chlazení	Nepřipojeno	operator	13:49:35

Obr. 25 Záhlaví vizualizace

V této části se přihlašují uživatelé, v rámci projektu Enetu je více uživatelských skupin s různými typy oprávnění. Typy oprávnění pro jednotlivé uživatele nebyly součástí práce.

V dolním oddíle, sloužícím jako menu, je statická lišta sloužící k výběru technologie, podle toho se mění vrchní lišta s volbou panelu dané technologie.



Obr. 26 Oddíl menu

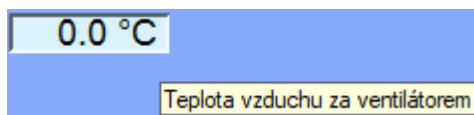
Již při zvolení technologie na statické liště se zobrazí ve středovém oddílu obrazovka, jako kdybychom ji zvolili z dynamické lišty. U akumulace je touto obrazovkou oddíl Chlazení. Kromě této obrazovky je ve vizualizaci připravená další obrazovka pojmenovaná Přehled, s informacemi, které nejsou nutné při ovládání.

Panel chlazení

Obsah panelu pro popisné účely rozdělíme na tři části.

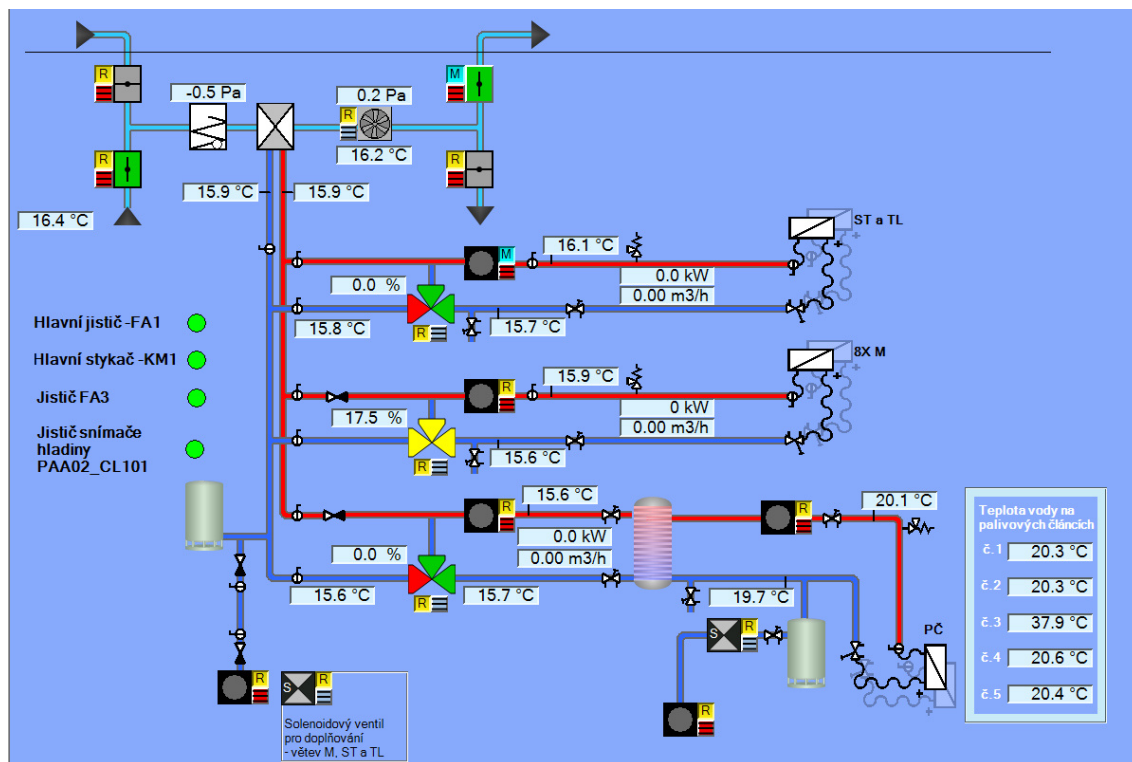
Část vzduchotechniky, kde zdrojem ochlazování vodního okruhu je ventilátor. Sání a výfuk vzduchu je řízen pomocí čtyř klapek, čára u těchto klapek simuluje venkovní prostředí. Aby mohl být ventilátor v provozu, musí být otevřena klapka jak pro sání, tak pro výfuk vzduchu. U klapky, zajišťující přívod vzduchu z haly, je uvedena teplota vzduchu v hale. Je zde uvedena jak tlaková ztráta na vstupním filtru, tak na samotném ventilátoru. U ventilátoru je informace o teplotě vyfukujícího se vzduchu.

U informačních prvků není napsáno, jakou hodnotu zobrazují, je tomu hlavně kvůli ušetření prostoru, ale při najetí myši nad prvky se zobrazí tzv. tooltip. Ten mají nejen informační prvky, ale i akční.



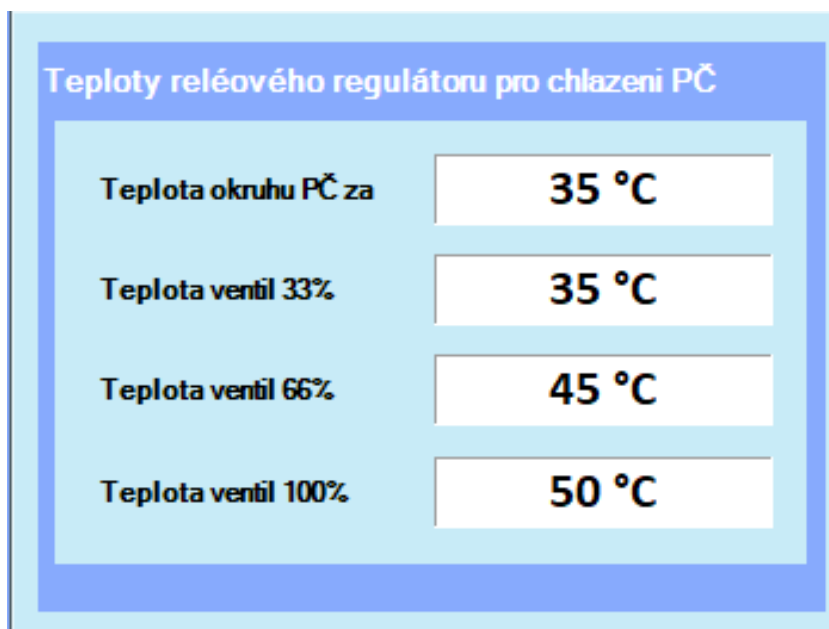
Obr. 27 Tooltip prvků ve vizualizaci

Následující obrázky jsou součástí jednoho panelu.

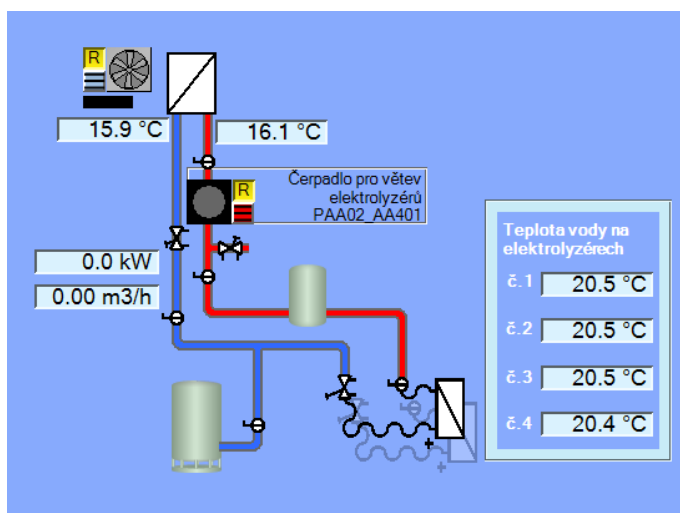


Obr. 28 Hlavní panel chlazení – chladicí okruh a ventilace

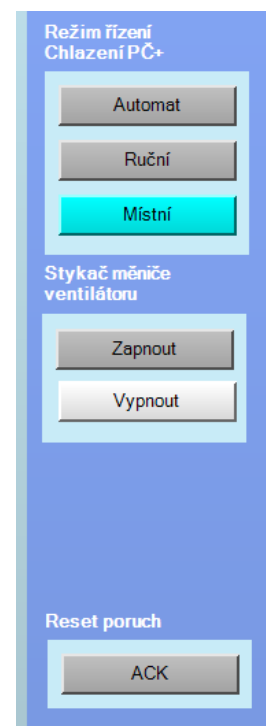
Další částí panelu je chladicí okruh, ten se skládá ze tří větví. V jednotlivých větvích jsou informace o teplotách vody na vstupu a výstupu z větve. Dále jsou zde trojcestné ventily, které umožňují ovlivňovat průtok chladicí kapaliny, u ventilů je informace o jejich poloze, ta je odvozená z doby, po jakou se ventil otevřel nebo zavřel.



Obr. 29 Část panelu - nastavení parametrů reléového regulátoru



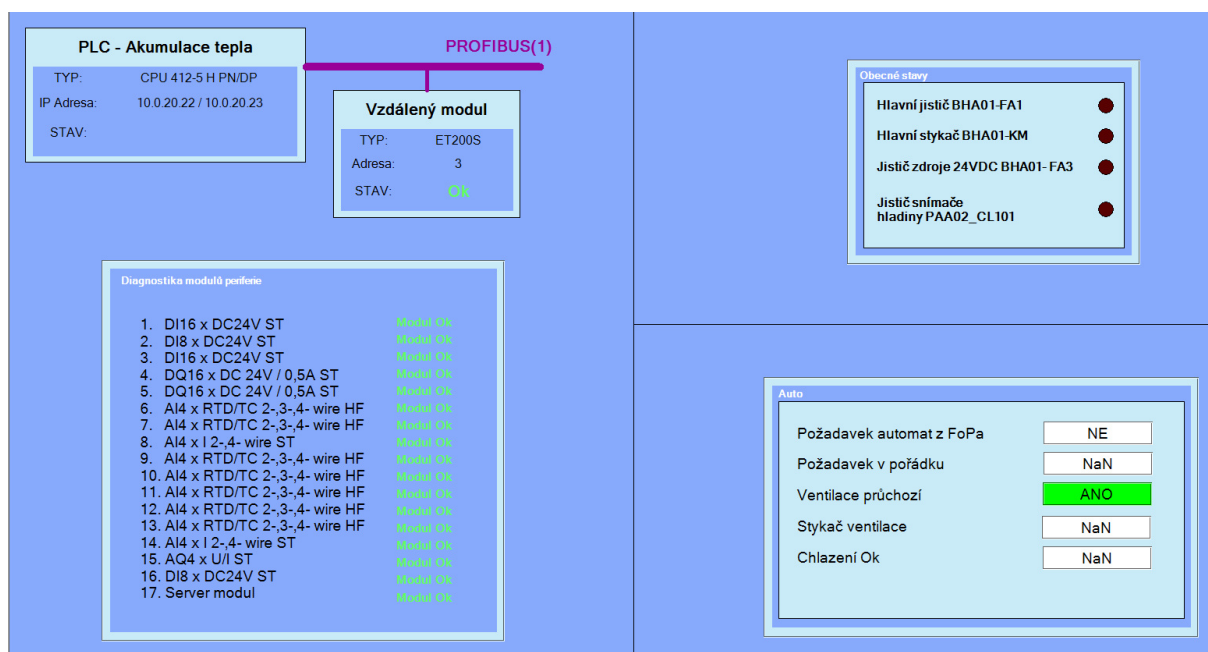
Obr. 30 Část panelu – elektrolyzá



Obr. 31 Pravá strana panelu chlazení

V pravé části panelu jsou tlačítka pro hromadné přepínání režimů. Další oddíl řeší zapínání stykače pro ventilátor. V dolní části je tlačítko pro potvrzení poruch.

Po vytvoření panelu chlazení vznikla nutnost dalšího panelu, ve kterém se budou zobrazovat diagnostická data z periferie, k těmto informacím poté přibýly informace k automatickému stavu.



Obr. 32 Panel přehled

4.3 Dialogová okna prvků

Ventily, klapky, čerpadla a ventilátory mají i dialogová okna s podrobnějšími informacemi. V hlavním panelu jde režimy měnit jen hromadně, zde jde ovládat režimy jednotlivých prvků. V tzv. PopUp okně se zobrazí případný typ poruchy, která se vyskytla.



Obr. 33 Dialogové okno čerpadla

V některých dialogových oknech je možné zadávat i hodnoty, jako u trojcestného ventilu. Zde je možno zadat požadovanou polohu ventilu.




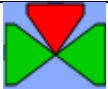

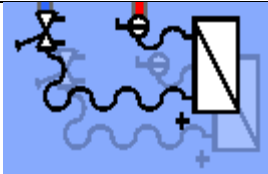

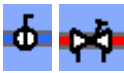





Obr. 34 Dialogové okno ventilu

4.4 Popis symbolů a statusů ikon

V následující tabulce jsou popsány ikony, které se vyskytují ve vizualizaci





Tab. 5 Symbolika vizualizace

	Klapka vzduchotechniky
	Filtr
	Ventilátor vzduchotechniky
	Trojcestný ventil
	Solenoidový ventil
	Obecný prvek s popisem, pro palivové články, měniče ...
	Výměník tepla
	Ruční ventily
	Ventil rohový pojistný
	Analogové měření
	Parametr

U jednotlivých prvků, kterým se dá nastavit režim, je ikona zobrazující, v jakém režimu se právě prvek nachází. Kromě písmene je režim zvýrazněn i barvou.

V ručním a manuálním režimu lze čerpadlo zapnout a vypnout kliknutím na jeho objekt, do jeho dialogového okna se dostaneme pomocí ikony menu, která je ve stejném místě, kde se signalizuje porucha. V automatickém režimu nejde čerpadlo ovládat, kliknutím na jeho objekt se dostaneme do stejného dialogového okna, jako při kliknutí na menu.

Tab. 6 Stavby ikon

	Čerpadlo je v provozu, v ručním režimu a bez poruchy.
	Čerpadlo není v provozu, v manuálním režimu a bez poruchy.
	Čerpadlo není v provozu, v automatickém režimu a s poruchou.
	Čerpadlo není v provozu, jeho část technologie je bez napájení – Off

Podobně jako ikony čerpadel fungují ikony trojcestných ventilů a klapek. Avšak ty mají více stavů. Zároveň jsou tyto ikony tvořeny pomocí grafického prvku *PmiCanvas*, ten umožňuje kreslení jednoduchých i složitých animovaných tvarů ve 2D grafice. Kreslí se skriptem (JavaScript) v události *onDraw*. [15]



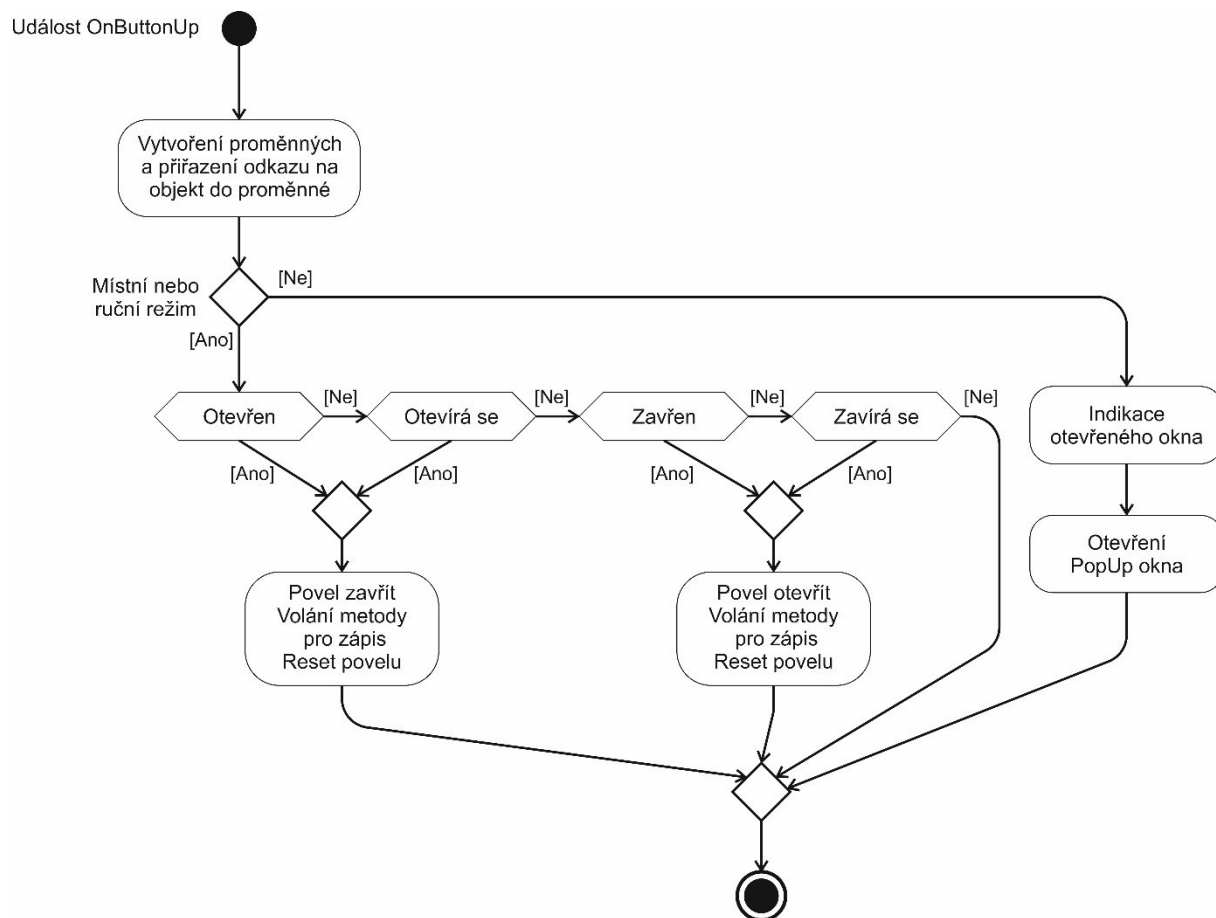
Obr. 35 Stavby klapky, otevřeno, zavřeno, otevírající se, zavírající se, porucha



Obr. 36 Stavby trojcestných ventilů, otevřeno, zavřeno, otevírající se, zavírající se, neměnicí se poloha

U klapky, jež jsou vícestavové, přibývá nutnost reagovat na otevírání a zavírání. Pro jednoduchost bylo řečeno, že otevírající se prvek se po kliknutí zavře a naopak.

Následující diagram popisuje základní princip události *OnButtonUp* (při zdvihu tlačítka).



Obr. 37 Aktivitní diagram - Reakce ikon

5 Realizace automatického režimu provozu

Automatický režim byl realizován pro samotné chlazení PČ a dalších technologií napojených na tento chladicí okruh. Režim byl navržen s pracovníky laboratoře. Obslužné procesy, jako doplňování vody do chladicího okruhu, automatický režim nemají, jelikož tyto procesy nejsou prováděny tak často a obsluha by je měla obstarat během údržby. Technologie elektrolýzy nemá automatický režim, protože nemá zajištěn přívod vody do elektrolýzérů.

Samotný automatický režim obsluhující PČ není zcela automatický, bylo možné vytvořit pouze ucelené sekvence, které budou prováděny za asistence operátora. [10]

5.1 Režimy řídicího systému

Systém byl navržen se 3 režimy. Ruční, místní a automatický režim se dá nastavit jak globálně pro všechny prvky, tak pro části technologie a samozřejmě pro jednotlivé prvky. Jednotlivé režimy a pravidlo pro jejich přepínání jsou popsány v následujících podkapitolách.

Ruční

Je vhodný pro manuální ovládání prvků, když se prvky nenacházejí v automatickém režimu a není třeba servisních zásahů. Do tohoto režimu jde přepnout kdykoliv.

Místní

Režim podobný ručnímu, avšak je určen pro zmíněné servisní zásahy, kdy není brán ohled na chyby. Z tohoto režimu jde přepnout do ručního režimu, avšak stačí jediný prvek v místním režimu a technologie nelze přepnout do automatického.

Automatický

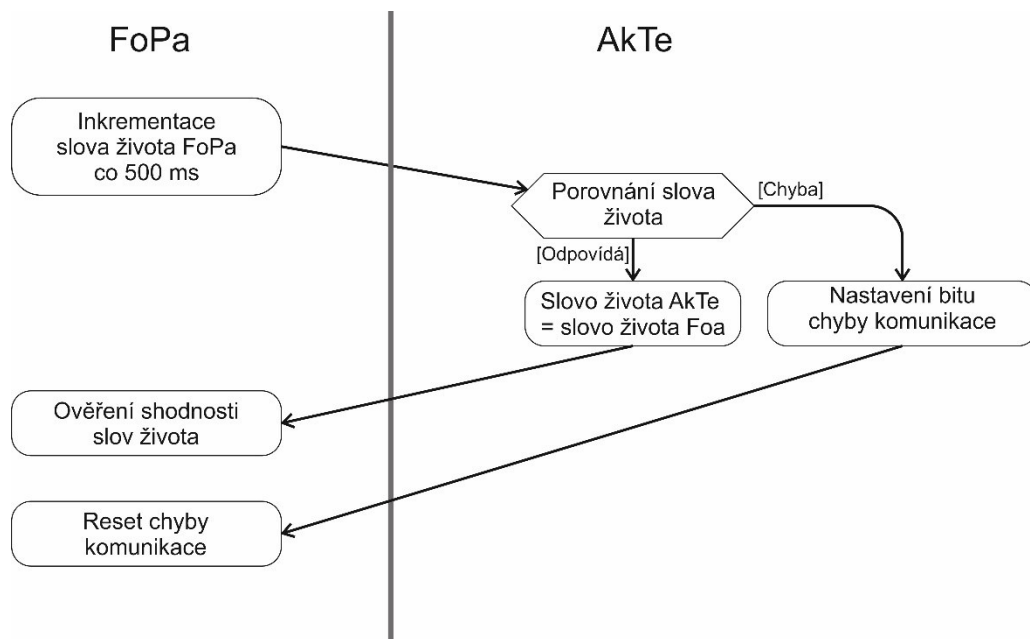
Režim, který obsluhuje systém, tak aby splňoval podmínky řízení provozu pod dohledem obsluhy. Automatický režim se ukončí při nesplnění podmínek, při požadavku na ukončení automatického režimu nebo když bude alespoň jeden prvek přepnut do místního režimu. Samostatný prvek, který je přepnutý do automatického režimu nejde ovládat.

5.2 Komunikace CPU – CPU

Jelikož systém s vodíkem je choulostivý, musí mít PLC, která se podílí na jeho správné funkci, zajištění stabilní komunikaci. Pro komunikaci mezi PLC zajišťující chlazení a PLC, jenž obstarává řízení palivových článků, stačí posílat zprávu o velikosti 100 bitů. Pro to jsou dostačující bloky PUT a GET Tab. 4

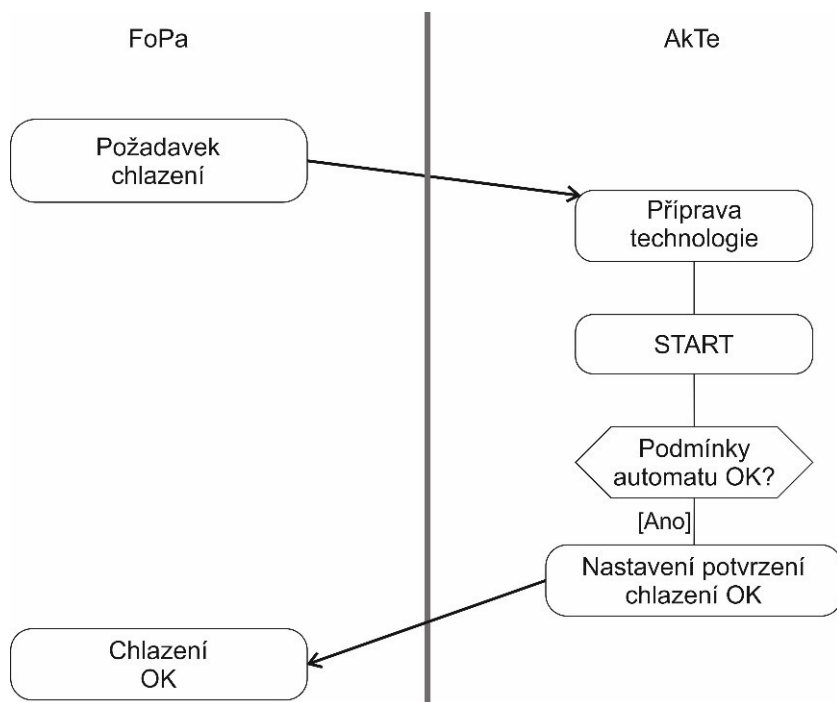
Blok PUT zapisuje datový blok určený pro komunikaci na danou adresu v PLC FoPa. Blok GET naopak data vyčítá. Oba bloky mají jako výstup informaci o tom, zda je přenos dokončen, případně zda došlo k chybě a status chyby, který poskytuje vysvětlení.

Aby bylo ověřeno, že je komunikace kontinuální, tak inkrementuje PLC FoPa co 500 ms slovo života. Slovo života AkTe se inkrementuje při změně slova života FoPa. Pokud slova života nejsou stejná, zapíše to AkTe do datového bloku komunikace. FoPa chybu resetuje.



Obr. 38 Slova života Akte <> FoPa

Aby mohlo být přepnuto řízení palivových článků do automatického režimu, musí dostat potvrzení o tom, že chlazení je OK.



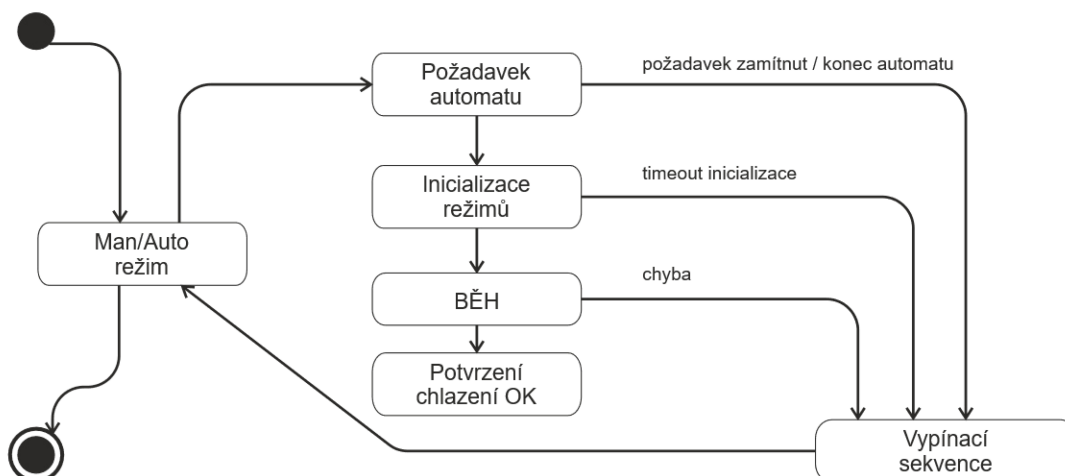
Obr. 39 Požadavek chlazení AkTe <-> FoPa

Datový blok je rozdělen na dvě části, prvních 50 bitů je určeno pro komunikaci FoPa -> Akte, dalších 50 bitů pro komunikaci opačným směrem.

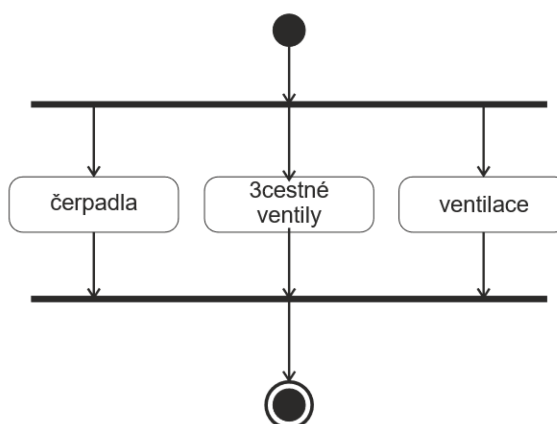
Na základě požadavku z FoPa se provede startovací sekvence, ta zkontroluje, jestli se některé prvky nenacházejí v místním režimu a jestli jsou prvky připraveny k běhu (nesmí se nacházet v chybě). Prvky skupiny chlazení a ventilace se převedou do režimu automatického. Prvky ze skupiny chlazení nepotřebují další inicializaci. Pro prvky skupiny ventilace je provedeno nastavení klapky až po splnění

podmínky, že je cesta vzduchotechniky průchozí, může dojít k potvrzení připravenosti chlazení pro PLC FoPa.

Požadavek o chlazení je kontinuální, při jeho zrušení má dojít k vypínací sekvenci chladicího okruhu a zároveň se zruší potvrzení chlazení v bloku pro komunikaci.



Obr. 40 Stavový diagram automatického režimu



Obr. 41 Aktivitní diagram automatického běhu

5.3 Automatické nastavení sání a výfuku ventilace.

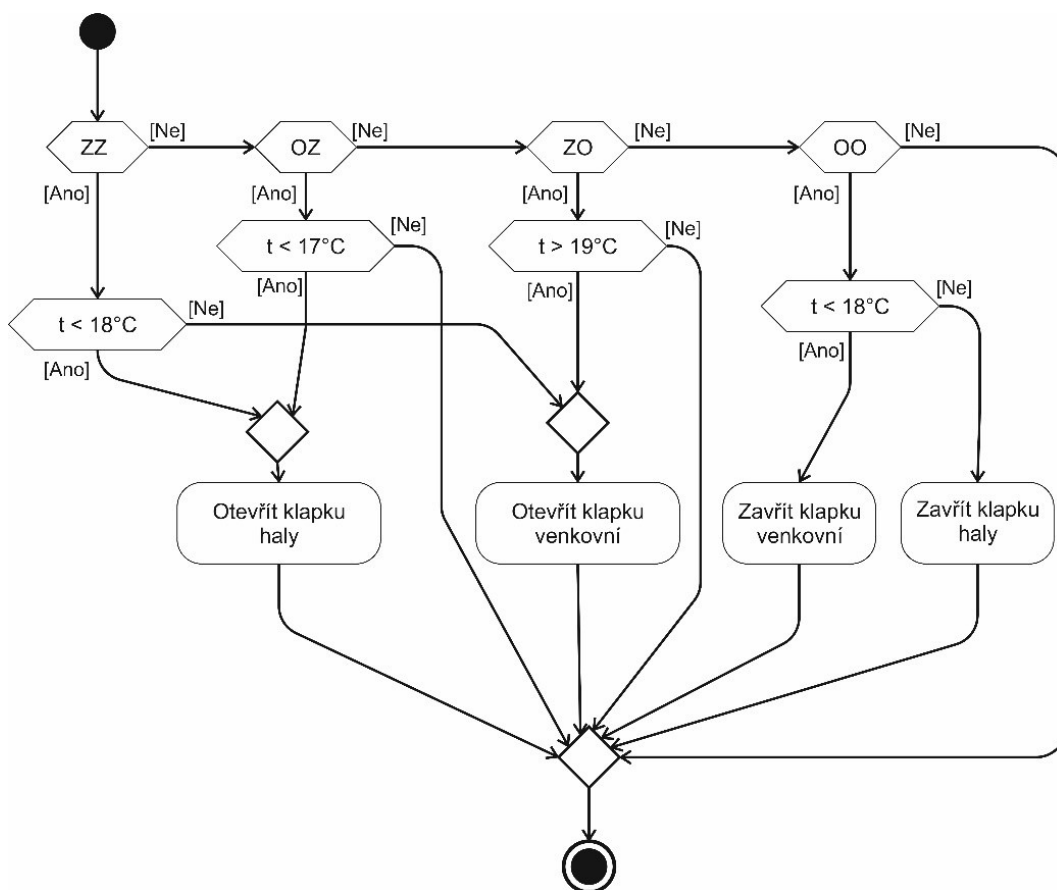
Nejdříve proběhne rozpoznání, v jakém stavu se nachází ventilace, jak sání, tak výfuk. Rozlišují se čtyři stavy a automatický režim nebere v potaz, že se klapky otevírají nebo zavírají.

Tab. 7 Stavy sání a výfuku v automatickém režimu

Stavy klapek sání a výfuku		Klapka haly	
		otevřeno	zavřeno
Klapka venkovní	otevřeno	OO	OZ
	zavřeno	ZO	ZZ

Aby byla splněna podmínka průchozí ventilace, musí být otevřena alespoň jedna klapka sání a alespoň jedna klapka výfuku. Po diskusi s pracovníky v laboratoři byly zvoleny podmínky pro volbu zdroje sání a místa výfuku.

U sání je řídicí veličinou teplota vzduchu v hale. Jednou podmínkou je, že chceme ohřát vzduch v hale na určitou teplotu, o to se stará sice hlavně výfuk, ale zároveň když máme informaci o tom, že je vzduch v hale chladný. To je jistota vhodné teploty média pro ventilátor. Z návrhu vyšlo, že se bude jednat o dvoustavovou regulaci s hysterezí.



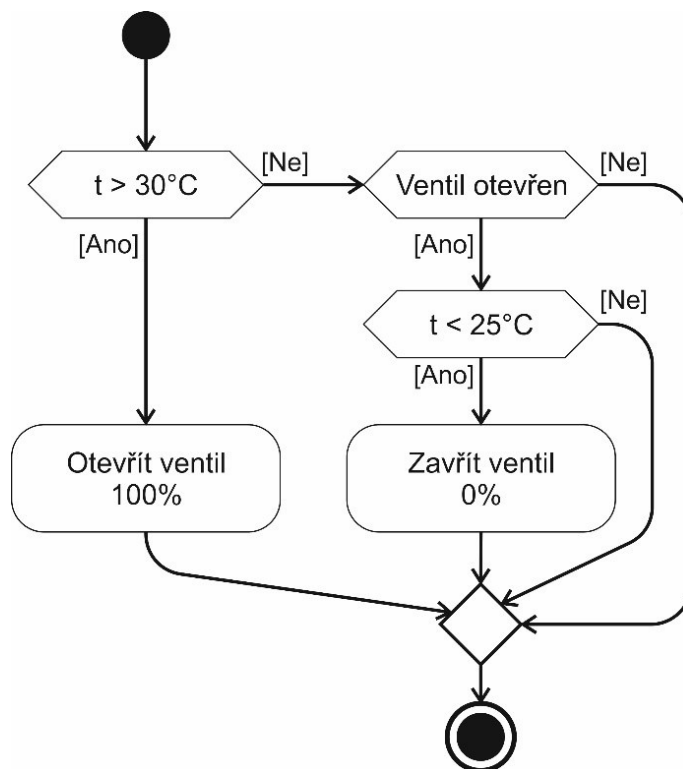
Obr. 42 Diagram sání ventilace

U výfuku aplikujeme podobný princip jako na Obr. 42. Teplota, při které je vzduch ještě hnán do haly, je 22 °C a hala se tedy ohřívá, při vyšší teplotě vzduchu v hale je výfuk vzduchu nasměrován ven, jelikož teplota v hale je dostačující.

Na základě průchodnosti ventilace může být spuštěn ventilátor vzduchotechniky.

5.4 Nastavení čerpadel a polohy trojcestných ventilů chladících okruhů

Pro trojcestné ventily okruhu měničů a okruhu střídačů a tlumivek platí jednoduché pravidlo, když je požadavek pro chlazení, čerpadla těchto okruhů jsou zapnuta a při překročení teploty vody okruhu dojde k otevření ventilů, a tedy k připojení na hlavní okruh. Jedná se tedy o dvoustavovou regulaci s hysterezí.



Obr. 43 Trojcestný směšovací ventil v automatickém režimu

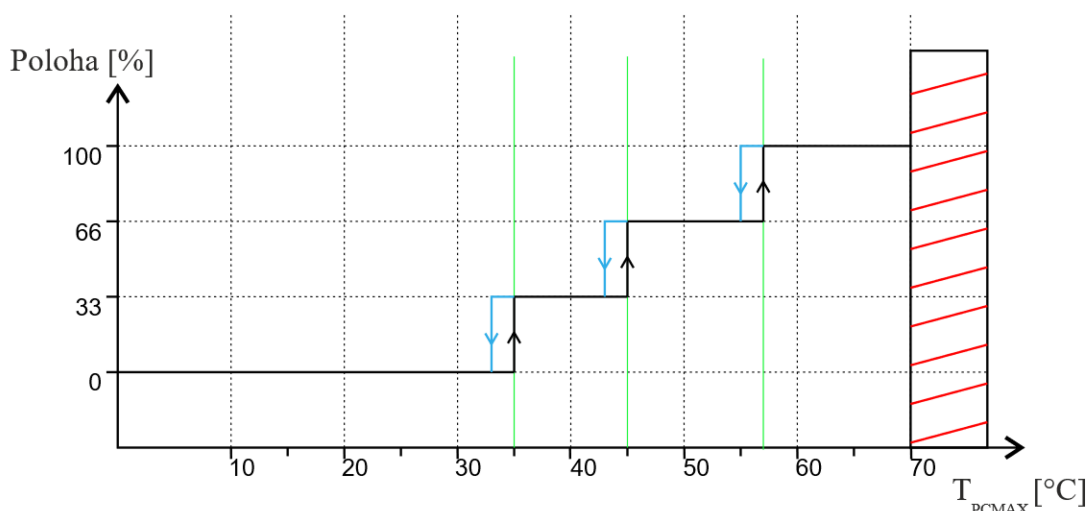
Situace u palivových článků je složitější, před zadáním úlohy nebylo na palivových článcích ani dosaženo ideální pracovní teploty 65 °C. Po konzultaci s vedoucím práce a pracovníky centra bylo zavrhnuto použití klasického regulátoru s tím, že je vhodný expertní systém řízení s použitím vícecestavového regulátoru.

Čerpadlo okruhu PČ za výměníkem, podobně jako čerpadla větví ST&TL a M, je spuštěno na základě požadavku chlazení a je v provozu i po dobu tohoto požadavku. Čerpadlo PČ, jenž je napojené na hlavní chladicí okruh, je už součástí expertního systému řízení, jako dvoustavový regulátor s hysterezí. Spustí se, až když teplota chladicí vody na jednom z palivových článků překročí parametr nastavený ve vizualizaci. Jelikož nemusí být v provozu všechny zásobníky PČ najednou, tak se jako regulovaná veličina bere v úvahu nejvyšší teplota z aktivních palivových článků.

Pro trojcestný ventil větve PČ byl tedy navrhnout čtyřstavový regulátor s hysterezí. S tím, že každé poloze je přiřazena limitní teplota, tyto teploty jsou nastaveny v PLC, ale operátor je má možnost upravit ve vizualizaci. Prvotní hodnoty parametrů byly zvoleny po diskusi s pracovníky centra.

Tab. 8 Polohy trojcestného ventilu v automatickém režimu

Poloha ventilu [%]	33	66	100
Teplota vody PČ s nejvyšší teplotou [°C]	35	45	60



Obr. 44 Regulace požadované polohy ventilu s hysterezí v závislosti na teplotě vody

5.5 Popis bloků zajišťujících automatický režim

FB101 Automat

Až na komunikaci s PLC FoPA tento blok zařizuje veškeré nutnosti týkající se automatického režimu vodního chlazení, kontrolu požadavků pro přepnutí, nastavování povelů a parametrů.

Na začátku musí být provedeno schválení požadavku pro přechod do automatického režimu. Podmínkami je absence chyb prvků. Systém zároveň nesmí být v místním servisním režimu a musí být připraven pro samotný běh. Proto se kontroluje stav hladiny chladicího média.

Při splnění těchto požadavků se provede inicializace prvků do automatického režimu. Kontroluje se jestli se prvky převedly do automatického režimu, při vypršení času je nastaven bit *TimeOut_Inicializace*. Ten spouští ukončovací frekvenci.

Inicializační povely jsou nastaveny, při zaznamenání pozitivní hrany bitu schválení požadavku. Povely jsou resetovány v samotných funkcích, které se starají o běh prvků.

Networky 17 až 20 se starají o nastavení povelů pro čerpadla.

Networky 21 a 24 o přiřazení parametrů pro trojcestné ventily prvních dvou chladicích okruhů.

V dalších networku je přiřazena nejvyšší teplota vody na výstupu z aktivních palivových článků. Zdali je palivový článek aktivní vyčítáme z bloku pro komunikaci mezi FoPa a Akte.

Byla možnost využití funkce od firmy Siemens FC25 MAX, která navrácí nejvyšší hodnotu ze tří. Místo dvojitého použití této funkce a následně komparátoru dvou výstupních hodnot jsem použil základní elementy pro porovnání a pro zápis. Výhodou bylo, že při pouze dvou aktivních článcích se porovnávají jen tři hodnoty. Zároveň je tak kód přehlednější.

Networky 26 a 27 nastavují polohu pro trojcestný ventil okruhu palivových článků na základě nastavených parametrů ve vizualizaci.

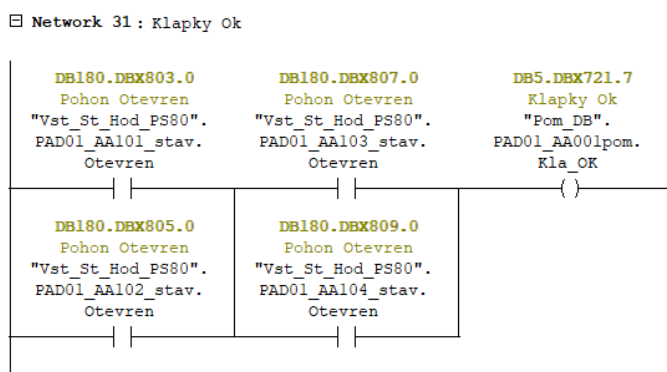
Aby bylo možné spustit automatický běh palivových článků, musí rozvaděč AkTe nastavit bit v jejich komunikaci o tom, že je připraveno chlazení a že probíhá v pořádku. Podmínky, které musí splňovat jsou, že nedošlo k žádné poruše na prvcích, zároveň je zde zařazena i chyba ET200SP. V okruzích musí být dostatek vody, což zajišťují manostaty, které varují při překročení dolního limitu hladiny vody. Také muselo úspěšně dojít k inicializaci ventilace a inicializaci ve FB101.

Poslední networky funkčního bloku se starají o vypnutí technologie. Vypínací sekvence proběhne při zrušení požadavku na chlazení z FoPa, při negativní hraně na bitu z minulého networku, který informuje o stavu běhu systému v automatu. Klapky ventilace se uzavřou, čerpadla jsou vypnuta, pozice trojcestných ventilů je nastavena na 0% a požadavek pro ventilaci je vyresetován. Prvky chladicího systému zůstávají v režimu automat.

FC132 Ovl_Aut_Kla

Funkce volaná z OB1 na základě požadavku z předešlého funkčního bloku. Funkce zajišťuje inicializaci klapek ventilace a samotného ventilátoru.

Většina kódu funkce se stará o nastavení cesty vzduchu viz Obr. 42.



Obr. 45 Potvrzení nastavení cesty ventilace

Na konci funkce je nastaven bit, potvrzující průchodnost ventilace, která je nutná pro automatický běh.

Když je ventilace průchozí, tak jsou sepnuty povely pro stykač a měnič ventilátoru.

FC136 Vyp_Seq_Kla

Vypínací sekvence inicializována z FB101. Nastavuje povely pro zavření klapek. Poté resetuje bit, na který reagovala.

6 Ověření funkčnosti automatického režimu

Dramatické události roku 2020 neumožnily plně otestovat navržený automatický režim v pracovních podmínkách, tedy se sepnutými PČ. V laboratoři se povedlo ověřit funkčnost řízení v manuálních režimech, kdy prvky správně reagovaly na povely a zobrazované informace odpovídaly reálnému stavu systému.

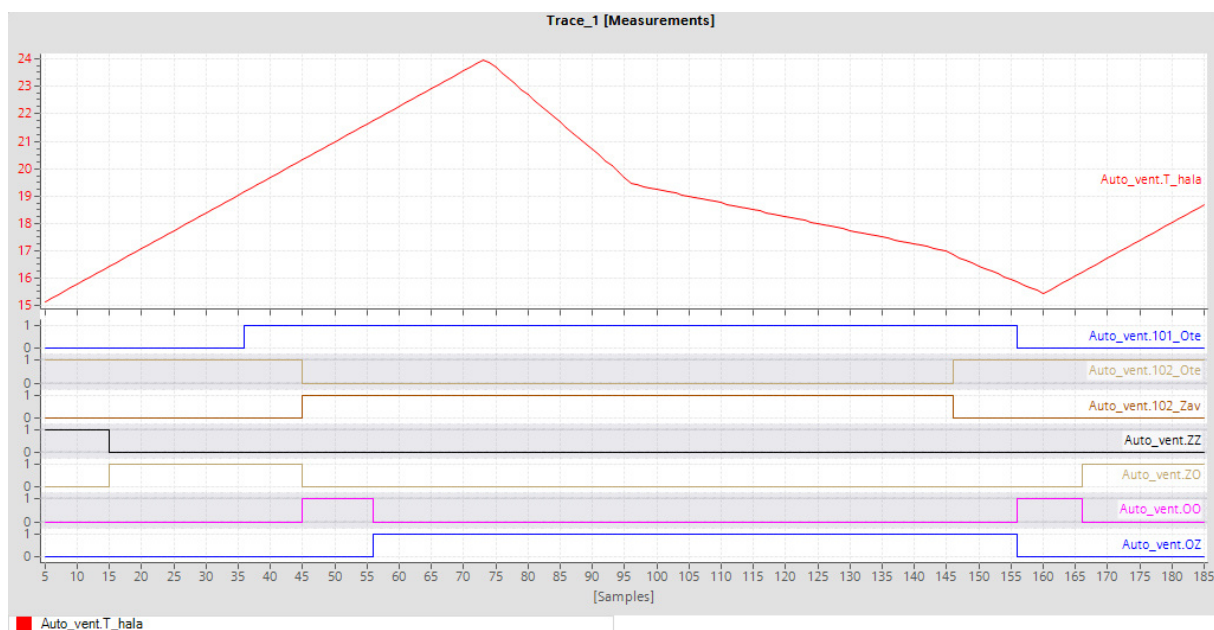
Po diskusi s vedoucím práce a pracovníky z centra ENET jsem se rozhodl provést simulaci podstatné části kódu navrženého řízení. A to sání ventilace a nastavení polohy trojcestného ventilu větve PČ.

Zkušenosti s programováním PLC ve STEP7 jsou užitečné, jelikož jsou z většiny přenositelné na vyšší verze SW od firmy Siemens. Testování jsem prováděl v TIA Portalu, který jsem používal už v průběhu práce na ověření částí kódu, jelikož je více uživatelsky vlnější.

Otestování nastavení klapek ventilace v automatickém režimu

Ověřoval jsem část kódu z FC132 Ovl_Aut_Kla, která zajišťuje nastavení klapek ventilace pro sání. Signál o teplotě haly byl uměle vytvořen a běžel ve smyčce. Reakce odpovídala navrženému dvoustavovému regulátoru s hysterezí Obr. 42 Diagram sání ventilace.

Při spuštění se správně nastavil povel pro otevření klapky z haly. Stav sání ventilace přešel z obou zavřených klapek ZZ na ZO, kdy je otevřena pouze klapka haly. Značení stavu viz Tab. 7. Stavby byly nastavovány ve funkci obsluhy simulace, ta sloužila jako reakce systému na povely. Např. klapky se v reálném systému při povelu plně otevrou až po nějaké době, tento čas jsem v simulaci zkrátil pro přehlednost na 10s. Dále při přechodu sání z jedné klapky na druhou, se nejdříve otevře klapka tak, aby byly otevřeny obě. Zaručuje, že bude ventilace průchozí, což je jeden z parametrů pro schválení chlazení.



Obr. 46 Simulace nastavení klapek ventilace v automatickém režimu

Otestování nastavení polohy trojcestného ventilu větve PČ

U testování automatického režimu trojcestného ventilu jsem kontroloval reakci programu na tři uměle vytvořené signály o teplotě na PČ. Červená křivka odpovídá maximální hodnotě těchto signálů. Nastavená poloha odpovídá návrhu viz Obr. 44.



Obr. 47 Simulace nastavení polohy ventilu v automatickém režimu

7 Závěr

V mé diplomové práci jsem se zabýval realizací řídicího systému chlazení výzkumného centra ENET ve Vítkovicích a přidání této technologie do nové vizualizace, která vznikla před dvěma lety, při revitalizaci vodíkové laboratoře. Při výkonu práce jsem spolupracoval s pracovníky, jenž se na této revitalizaci laboratoře podíleli.

Nejdříve jsem provedl analýzu chladicího systému, jednak samotného řízeného systému, který má návaznost na další technologie, a poté stávajícího řídicího software a vizualizace. Zvláště analýza řídicího systému byla složitá, jelikož dosavadní program byl tvořen ve třech jazycích a části z něj byly uzamčeny.

Na základě analýzy jsem nejprve vytvořil program pro manuální režimy. Jelikož PLC, na kterém program běžel, jde programovat jen v prostředí STEP 7, se kterým jsem neměl uživatelské zkušenosti, tak testování částí kódu probíhalo v TIA Portalu. Dalším krokem bylo propojení datových bloků PLC a serverové části vizualizace, které probíhalo pomocí protokolu S7. Při vytvoření panelu chlazení v programu PROMOTIC průběžně vyplynula datová struktura pro komunikaci mezi serverovou a klientskou částí vizualizace.

Následně mohlo proběhnout testování řídicího systému a vizualizace, které bylo prováděno zároveň, pro možnost odhalení jak chyb v nastavení komunikace, tak programových chyb. Zvláště ve vizualizaci je velké množství prvků a kontrola chyb je časově náročná.

Při návrhu automatického režimu vyplynulo, že plně automatický režim není vhodný a systém bude ovládán pomocí expertního systému řízení, na základě parametrů zadaných operátorem ve vizualizaci.

Ověření manuálních režimů proběhlo úspěšně, avšak ověření automatického režimu při běhu systému znemožnily události roku 2020. V laboratoři bylo úspěšně otestováno zadávání parametrů z vizualizace pro tento režim a stěžejní části kódu byly ověřeny pomocí simulace v prostředí TIA Portal.

V rámci práce jsem se tak seznámil s novým prostředím pro programování PLC, skriptovacími jazyky a rozšířil znalosti při práci v softwaru Promotic. Získal jsem praktické zkušenosti díky práci na tak rozsáhlém projektu, při kterém jsem uplatnil znalosti z oblasti oboru automatizace a řízení nabyté během vysokoškolského studia.

Laboratoř palivových článků by mohla být v budoucnu využita k studijním účelům a to k přiblížení reálných struktur komplexních řízených a řídicích systémů, se kterými se během studia studenti nemusí potkat. Zároveň by bylo možné integrací principů průmyslu 4.0 a propojením veškerých technologií výzkumného centra optimalizovat ukládání a vytváření elektrické energie v centru ENET.

Literatura

- [1] Fuel cells | Hydrogen [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://hydrogeneurope.eu/fuel-cells>
- [2] Fuel Cell Technologies – Fuel Cell Today [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <http://www.fuelcelltoday.com/technologies>
- [3] Výroba vodíku – Česká vodíková technologická platforma. Česká vodíková technologická platforma [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/cs/vodik/informace-o-vodiku/vyroba-vodiku/664-vyroba-vodiku>
- [4] Pem cell. In: *Nedstack* [online]. [cit. 2019-10-24]. Dostupné z: <https://nedstack.com/en/pem-fcs-stack-technology>
- [5] NEDSTACK FCS 13-XXL. PEM-FCS Stack Technology | Nedstack [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: https://nedstack.com/sites/default/files/2019-11/20191105_nedstack_fcs_10-xxl.pdf
- [6] OPLUŠTIL, Josef. *Metody řízení moderních soustav s akumulací elektrické energie* [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://dspace.vsb.cz/handle/10084/106246>. Disertační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [7] PETRUZELLA, Frank. Programmable logic controllers. Fifth edition. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2017. ISBN 978-0073373843
- [8] ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ. *PLC a automatizace*. Praha: BEN – technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-58-9.
- [9] Sedlové ventily. *Danfoss Engineering Tomorrow* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://assets.danfoss.com/documents/DOC164686476087/DOC164686476087.pdf>
- [10] KRUPA, Filip. *Řídicí systém pro automatický provoz laboratoře palivových článků* [online]. Ostrava, 2018 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/128583>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [11] NĚMČÍK, Jakub. *Optimalizace datových toků laboratoře palivových článků* [online]. Ostrava, 2018 [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/128582>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [12] SIMATIC S7-400H, CPU 412-5H. Siemens-Industry Mall [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/?mlfb=6ES7412-5HK06-0AB0>
- [13] Siemens communications overview. SourceForge [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: http://snap7.sourceforge.net/siemens_comm.html
- [14] What properties, advantages and special features are offered by the protocols TCP. Industry Support Siemens [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/26171811/>
- [15] Promotic [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.promotic.eu/cz/pmdoc/PmDocDefault.htm>

- [16] Structure of the slave diagnostics. Industry Support Siemens [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/25548014?c=9631342091&lc=en-WW>
- [17] Module status. Industry Support Siemens [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/25548014?c=3549753739&lc=en-WW>